



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Rikko Leheveer

**MOOTORIBENSIINI JA BIOKÜTUSTE SEGUDE MÕJU SÄDESÜÜTEGA
MOOTORI HEITGAASIDE EMISSIOONILE**

INFLUENCE OF GASOLINE AND BIOFUEL MIXTURE TO SPARK-IGNITION
ENGINE'S EXHAUST EMISSION

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: dotsent Risto Ilves, PhD

Tartu 2017

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bachelor's Thesis	
Author: Rikko Leheveer		Speciality: Engineering	
Title: Influence of gasoline and biofuel mixture to spark-ignition engine's exhaust emission			
Pages: 47	Figures: 18	Tables: 2	Appendixes: 5
Department: Agricultural and Production Engineering Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering 4.14. Industrial Engineering and Management T130 Production technology Supervisors: Risto Ilves, <i>PhD</i> Place and date: Tartu 2017			
The aim of this bachelor thesis is to investigate influence of gasoline and biofuel mixture to spark-ignition engine's exhaust emission. In the process, fuel blending test were made. From those results 5 different fuels were chosen to make fuel mixtures with. Every fuel mixture was made in two different volume: 15% and 25%, main component of mixture was gasoline. The tests were carried out at the Estonian University of Life Sciences technology institute laboratory. Following test were done in fuel laboratory: kinematic viscosity, distillation characteristics, relative density, vapor pressure and corrosivness. Exhaust emission was measured using Bosch exhaust-gas analyzer on a Audi 1.8l gasoline engine. CO, CO ₂ , NOx, HC, O ₂ parameters were analyzed. The engine settings were kept the same throughout tests. The results show that adding biofuels to gasoline can decrease harmful substances in exhaust gases. Rapeseed oil and butanol fuel mixtures improved the burning process and decreased exhaust emissions. To achieve better results, some changes in engine settings should be made.			
Keywords: gasoline engine, exhaust-gas analyser, biofuel			

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		lühikokkuvõte	
Autor: Rikko Leheveer		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Mootoribensiini ja biokütuste segude mõju sädesüütega mootori heitgaaside emissioonile			
Lehekülgi: 47	Jooniseid: 18	Tabeleid: 2	Lisasid: 5
<p>Osakond: Põllundus ja tootmistehnika</p> <p>Uurimisvaldkond: Teadusvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika.</p> <p>Teaduseriala: 4.14. Tootmistehnika ja tootmisjuhtimine.</p> <p>T130 Tootmistehnoloogia.</p> <p>Juhendaja(d): Risto Ilves, <i>PhD</i></p> <p>Kaitsmiskoht ja –aasta: Tartu 2017</p>			
<p>Bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida mootoribensiini ja biokütuste segude mõju sädesüütega mootori heitgaaside emissioonile.</p> <p>Antud lõputöö käigus teostati segunemiskatsed, mille tulemusena valiti välja 5 kütust, mida kasutati kütusesegude moodustamisel. Kõiki kütusesegusid moodustati kahes mahuprotsendis: 15% ja 25%, peamiseks koostisosaks jäi mootoribensiin. Katsetamistel kasutati Eesti Maaülikooli kütuse- ja mootorilaborit. Kütuselaboris mõõdeti kütusesegude fraktsioonikoostist, tihedust, viskoossust, korrosiivsust ning aururõhku. Mootorilaboris kasutati katsetusteks Audi 1,8l bensiinimootorit ning heitgaase mõõdeti Bosch heitgaaside analüsaatoriga. Analüüsiti CO, CO₂, NO_x, HC ning O₂ sisaldust heitgaasides. Mootori seadistust katsete teostamiseks ei muudetud.</p> <p>Katsete tulemusest selgus, et teatud biokütuste lisamisega on võimalik vähendada heitgaasides sisalduvate kahjulike ainete hulka. Rapsiõli ja butanooli kütusesegude puhul paranes põlemisprotsess ning vähenes heitgaaside emissioon. Selleks, et paremaid tulemusi saavutada, tuleks muuta mootori seadistust.</p>			
Märksõnad: bensiinimootor, heitgaaside analüsaator, biokütus			

SISUKORD

ABSTRACT	2
LÜHIKOKKUVÕTE	3
SISSEJUHATUS	6
1. MOOTORIKÜTUSED JA NENDE TOOTMINE	7
1.1. Lõputöö eesmärk ja ülesanded	7
1.2. Mootoribensiin ja selle tootmine	7
1.2.1. Nafta	7
1.2.2. Nafta destilleerimine	7
1.2.3. Krakkimine	8
1.2.4. Mootoribensiin	9
1.3. Biokütused	10
1.3.1. Biokütuste tootmine	10
1.3.2. Töös kasutatavad kütused	11
2. KATSETÖÖDE ETTEVALMISTAMINE JA VAHENDID	12
2.1. Katsekütused	12
2.2. Mootoribensiini füsiko-keemilised omadused	13
2.3. Katsevahendid kütuselaboris	14
2.3.1. Fraktsioonikoostise mõõtemetoodika	14
2.3.2. Kinemaatilise viskoossuse mõõtemetoodika	15
2.3.3. Tiheduse määramise mõõtemetoodika	16
2.3.4. Aururõhu määramise mõõtemetoodika	17
2.3.5. Korrosiivsuse määramise metoodika	17
2.4. Mootorikatsetused	18
2.4.1. Mõõtemetoodika	18
2.4.2. Heitgaaside mõõtmine	20
3. KATSETÖÖDE TULEMUSED JA ANALÜÜS	22
3.1. Kütusesegude analüüside tulemused	22
3.2. Mootorikatsete tulemused	25

KOKKUVÕTE	31
INFLUENCE OF GASOLINE AND BIOFUEL MIXTURE TO SPARK-IGNITION ENGINE'S EXHAUST EMISSION	33
Summary.....	33
KASUTATUD KIRJANDUS	34
LISAD	36
LISA A. Mootoribensiini katseprotokoll	37
LISA B. Mootoribensiini sertifikaat	38
LISA C. Katsekütuste segunemise hindamine	39
LISA D. Katsesegude kütuselabori mõõtmistulemused	40
LISA E. Heitgaaside mõõtmistulemused	41

SISSEJUHATUS

Maailma rahvaarv on pidevalt tõusmas. Aastaks 2030 ennustatakse rahvaarvuks 8,5 miljardit inimest, aastaks 2050 aga juba 9,7 miljardit [1]. Sellega kasvab ka nõudlus mootorikütuste järele. Enamus automootorites kasutatavast kütusest toodetakse naftast, mis on taastumatu maavara. Ainuüksi Eestis oli aastal 2015 autobensiini tarbimine 236000 tonni [2]. Üha rohkem on hakatud tähelepanu pöörama biokütustele ning nende osakaalu suurendamisele mootorikütustes. Biokütused on hea alternatiiv. Neid on võimalik toota orgaanilistest jäätmetest, mis muidu jääksid kasutamata. Lisaks sellele on biokütused palju loodussõbralikumad. Juba vähesel määral biokütuste lisamine autobensiinile vähendaks oluliselt mootoribensiini tootmist. Siiski tuleks uurida erinevate biokütuste lisamise mõju heitgaasidele.

Prantsuse d'Orléansi ülikoolis teostati uurimus mootoribensiini ja butanooli segudest ning tulemused näitavad, et butanooli lisamisel mootoribensiinile vähenes HC emissioon [3].

Antud töö eemärgiks oli uurida bensiini ja erinevate biokütuste segu mõju mootori heitgaaside emissioonile. Selleks segati mootoribensiini viie erineva biokütusega: metanool, bioetanool E85, butanool, kuumpressitud rapsiõli ning mootoriõli. Parameetreid mõõdeti Eesti Maaülikooli mootorilaboris ning kütuse- ja määrdeainete laboris.

Antud bakalaureusetöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis tutvustatakse mootorikütuseid ning nende tootmisprotsesse. Teises peatükis käsitletakse katsetööde ettevalmistust ning katseseadmeid. Kolmandas peatükis esitletakse katsetulemused ning analüüs.

1. MOOTORIKÜTUSED JA NENDE TOOTMINE

1.1. Lõputöö eesmärk ja ülesanded

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on uurida bensiini ja biokütuste segude mõju mootori heitgaaside emissioonile.

Lõputöö ülesanded:

1. Valida kütusesegude segamiseks sobivad biokütused.
2. Analüüsida erinevate kütusesegude parameetreid.
3. Viia läbi mootorikatsetused.
4. Analüüsida katsete tulemusi.

1.2. Mootoribensiin ja selle tootmine

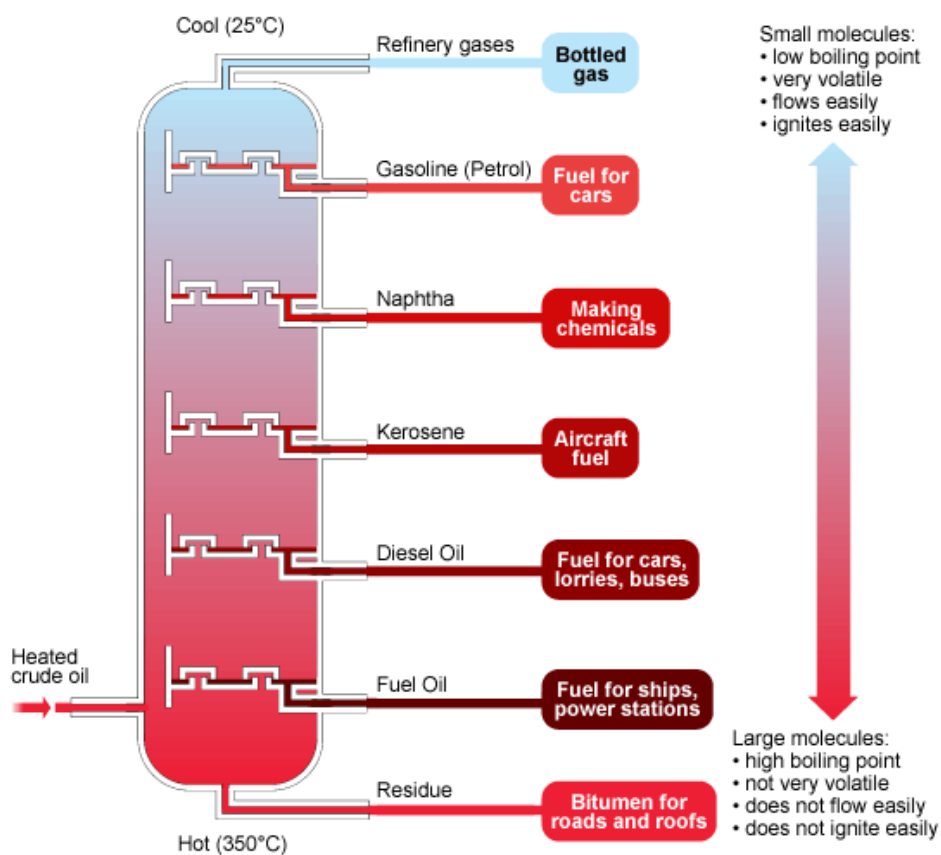
1.2.1. Nafta

Mootoribensiini toodetakse naftast. Seda on võimalik teha kas destilleerides või krakkides. Toornafta destilleerimise peamised saadused on lennukikütus, gaas, masuut, diisel ning bensiin. Bensiin on kerge süsivesinike segu, mida enamasti kasutatakse sisepõlemismootorite kütusena. Samuti kasutatakse bensiini lahustina [4].

1.2.2. Nafta destilleerimine

Nafta destilleerimine toimub järkjärgulise temperatuuri tõstmise teel rektifikatsioonikolonnides. Kuumutades naftat ligi 370° C, aurustuvad kõik naftas olevad fraktsioonid peale masuudi, mis jääb vedelasse olekusse. Tekkinud aur juhitakse

aurueraldajasse. Kuna iga produkt kondenseerub omal kindlal temperatuuril, siis eraldatakse toornaftast vajalikud produktid. Masuut pumbatakse edasi vaakumdestillaatorisse, kus eraldatakse õlifraktsioonid. Destilleerimisel ei muudeta süsivesinike struktuuri vaid eraldatakse kõik erinevad süsivesinikud. Olenevalt nafta koostisest saadakse ligikaudu 10-15% bensiini, 15-20% reaktiivmootori kütust, 15-20% diiselmootori kütust ja 50% masuuti [5].



Joonis 1.1. Toornafta destilleerimisest saadavad produktid [6]

1.2.3. Krakkimine

Kuna destilleerimisel saadakse naftast kuni 15% bensiini siis masuudi edasiseks töötlemiseks kasutatakse krakkimist. Krakkimisel lõhestatakse kõrgel temperatuuril ning

rõhul destillatsioonijääkides olevad süsivesinikud väiksemateks molekulideks. Nendest moodustuvad kerged kütused[7].

Kasutatakse kolme krakkimismoodust: termiline, katalüütiline ning vesinikkrakkimine.

Termilist krakkimist kasutatakse raskete fraktsioonise töötlemiseks. Soojendamistemperatuur on üle 500° C ning rõhk kuni 7 MPa. Sellisel meetodil võib bensiinisaagis olla kuni 50%. Krakkbensiin on küll karburaatormootoris kasutuskõlblik ja suurema detonatsioonikindlusega kui destilleerimisel saadud bensiin, kuid miinuseks on küllastamatute süsivesinike sisaldus. Seetõttu vajab see enne kasutamist lisandeid [7].

Katalüütiline krakkimine toimub temperatuuril kuni 450° C ning rõhul kuni 0,3 MPa. Fraktsioonid juhitakse läbi kolonnide, mis on täidetud katalüsaatoriga. Katalüsaatoriks kasutatakse näiteks alumiin-silikaate. Katalüsaator kattub koksiga ning järele jääb kõrgema kvaliteediga bensiin [7].

Vesinikkrakkimise puhul asub katalüsaator vesinikkeskonnas, mistõttu lõhustuvad süsivesinikud, mis katalüütilisel meetodil jäävad bensiini.

1.2.4. Mootoribensiin

Tänapäeval valmistatakse väga erineva koostisega bensiini. Eestis on levinumad margid 95 ja 98. Number tähistab oktaanarvu, mis näitab bensiini plahvatuskindlust. Kui kasutada väiksema oktaanarvuga kütust võib see põhjustada detonatsiooni. Detonatsioon omakorda põhjustab hõõgsüüdet, mis on kütusesegu iseeneslik süttimine. See suurendab mootori temperatuuri ja kulutab silindreid ning kolvirõngaid [8].

1.3. Biokütused

1.3.1. Biokütuste tootmine

Biokütus on bioloogilist päritolu, kütuseks töödeldud, tahke, vedel või gaasiline aine [9]. Esimeseks biokütuseks võib lugeda puitu. Töödeldud biokütused on näiteks bioetanool ning saepuru.

Biokütuste tootmist jagatakse kolmeks :

I põlvkonna biokütused – tootmine põhineb suhkrul, tärklisel või taimeõlil.

II põlvkonna biokütused – tootmine põhineb lignotselluloosil.

III põlvkonna biokütused – tootmine põhineb vetikatel.

Kuna biokütuseks või selle tootmiseks sobivad kõik orgaanilised ained, on ka biokütuse tootmisprotsessid erinevad. Teravilja kasutatakse etanooli tootmisel, vili kääritatakse ning destilleerimise tulemusena saadakse etanool. Bioetanooli on võimalik kasutada mootorikütusena puhtalt või segatuna mootoribensiini [10].

Taimeõli või loomset rasva esmalt filtreeritakse. Filtreerimise käigus eemaldatakse toiduosakesed. Seejärel kuumutatakse õli, et eraldada vesi. Peale kuumutamist läbib taimeõli veel kolm filtrit, mis on järjest väiksema ava mõõduga, et kõige väiksemad tahked osakesed õlist eemaldada. Ümberesterdamisel muudetakse molekuli struktuuri. Lisatakse metanooli ning katalüsaatoreid, mis kiirendavad keemilist protsessi. Reaktsiooni käigus tekib kõrvalproduktina glütseriin. Glütseriin eraldatakse ning segu kuumutatakse, et eemaldada lõplikult vesi ning reageerimata jäänud metanool, mis läheb uuesti kasutusse [11].

1.3.2. Töös kasutatavad kütused

Segude moodustamiseks valiti viis erinevat ainet: biobutanool, biometanool, kuumpressitud rapsiõli, bioetanool E85 ning mootoriõli. Mootoriõli pole küll biokütus, kuid kuna alkoholid sisaldavad palju hapnikku ning mootoriõlis hapnikuühendid puuduvad, valiti mootoriõli üheks segukomponendiks võrdlemaks hapnikuühendite mõju katse tulemustele.

Nimetatud ained segati mootoribensiiniga 95, mis on ostetud Alexela tanklast ning mille kohta on võetud kütusesertifikaat ning katseprotokoll. Sertifikaat ja katseprotokoll on välja toodud lisades A ja B. Kuna kütust E85 ei ole Eestis saadaval, siis on see ostetud Soomest. Ülejäänud ained olid kättesaadavad Eesti Maaülikooli kütuselaboris.

2. KATSETÖÖDE ETTEVALMISTAMINE JA VAHENDID

2.1. Katsekütused

Töös kasutatavad kütused valiti eelneva uurimise käigus, milliste katsesegudega on varem katsetusi tehtud. Lisaks sellele ka autori enda ideed, millega võiks kütusesegusid valmistada. Valiti 6 kütust: mootoribensiin 95, etanoolkütus E85, metanool, butanool, kuumpressitud rapsiõli ning mootoriõli.

Eelnevalt katsetati, millised kütused segunevad, et välja selgitada milliseid kütusesegusid on võimalik mootorikütusena kasutada. Pildid katsekütuste segamisest on välja toodud lisas C.

Võttes eelkatsetusi arvesse, otsustati kõiki neid aineid segada mootoribensiiniga 95, mis osteti tuntud tanklaketist. Esmalt tehti kõik laborkatsed läbi mootoribensiin 95-ga. Saadud tulemused olid sarnased ettevõttelt saadud katseprotokollis välja toodud tulemustega. Seega saab väita, et laboris tehtud katsetused on üsna täpsed.

Igat kütust segati mootoribensiin 95-ga kahes erinevas mahuprotsendis – 15% ja 25%. Põhiliseks koostisosaks jäi mootoribensiin 95. Segud segati 5l plastikkanistritesse ning neist võeti vajalik kogus kütustekatsetuste läbiviimiseks kütuse- ja mootorilaboris.

Töös kasutatavad kütusesegud:

1. Mootoribensiin 95 100%
2. Mootoribensiin 95 85% + bioetanool E85 15%
3. Mootoribensiin 95 75% + bioetanool E85 25%
4. Mootoribensiin 95 85% + butanool 15%
5. Mootoribensiin 95 75% + butanool 25%
6. Mootoribensiin 95 85% + kuumpressitud rapsiõli 15%
7. Mootoribensiin 95 75% + kuumpressitud rapsiõli 25%
8. Mootoribensiin 95 85% + metanool 15%
9. Mootoribensiin 95 75% + metanool 25%
10. Mootoribensiin 95 85% + mootoriõli 15%
11. Mootoribensiin 95 75% + mootoriõli 25%

2.2. Mootoribensiini füsiko-keemilised omadused

Vastavalt standardile EVS-EN 228/NA:2013 on pliivabale mootoribensiinile esitatud nõuded toodud tabelis 2.1.

Tabel 2.1. Kõrge oktaanarvuga plii- ja väävlivaba bensiinile esitatavad nõuded ja katsemeetodid [12]

Näitaja	Mõõtühik	Nõue		Katsemeetod
		min	max	
Oktaanarv uurimismeetodil RON		95,0	-	EN ISO 5164
Oktaanarv uurimismeetodil MON		85,0	-	EN ISO 5163
Pliisisaldus	mg/l	-	5	EN 237
Tihedus temperatuuril 15° C	kg/m ³	720	775	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Induktsioonperiood	mg/kg	360	-	EN ISO 7536
Solvent-uhutud vaikude sisaldus	mg/100 ml	-	5	EN ISO 6246
Korrosiivsus vaskplaadikatsel	klass I	klass I		EN ISO 2160
Välimus		Läbipaistev ja selge		Visuaalne vaatlus
Süsivesinike sisaldus	mahu %			ASTM D 1319
-alkeenid		-	18,0	
-aromaatsed süsivesinikud		-	35,0	
Benseenisisaldus	mahu %	-	1,00	EN 12177 EN 238 EN 14517
Hapnikusisaldus	massi %	-	2,7	EN 1601 EN 13132
Hapnikuühendite sisaldus -metanool -etanool -isopropüülalkohol -isobutüülalkohol -tertsiaarne butüülalkohol -eetrid -muud hapnikuühendid	mahu %	3	-	EN 1601 EN 13132
		5	-	
		-	5	
		-	10	
		-	10	
		-	7	
		-	10	
Aururõhk	kPa	65	95	EN 13016-1
Temperatuuril 70°C aurustunud osa, E70	mahu %	22	50	EN ISO 3405
Temperatuuril 100°C aurustunud osa, E100	mahu %	46	71	EN ISO 3405
Temperatuuril 150°C aurustunud osa, E150	mahu %	75	-	EN ISO 3405
Keemise lõpptemperatuur	°C	-	210	EN ISO 3405
Destillatsioonijääk	mahu %	-	2	EN ISO 3405

2.3. Katsevahendid kütuselaboris

2.3.1. Fraktsioonikoostise mõõtemetoodika

Fraktsioonikoostise määramisel võeti aluseks standard ASTM D86 (EN 3405) [13]. Selleks kasutati Koehleri destillatsiooniseadet.

Seade koosneb küttekehast, mille kuumust saab reguleerida ja jahutusspiraalist, mida jahutab vee ning jää segu (joonis 2.1.). Lisaks kasutati 100ml mõõtesilindrit, 5ml mõõtesilindrit, 125ml keedukolbi, termomeetrit, mis kinnitus keedukolvi külge, ning kiletükki, et vähendada lenduvate osakeste kadumist destillaadis.



Joonis 2.1. Koehleri destillatsiooniseade

Esmalt tuleb valada mõõtesilindrisse 100ml kütust ja seejärel valada see keedukolbi. Keedukolvi otsa kinnitatakse termomeeter. Seejärel tuleb kütust kuumutada, mille tagajärjel kütus aurustub. Aur läbib jahutusspiraali ning kondenseerub mõõtesilindrisse. Kõigepealt määratakse keemise alguse temperatuur. Seda tähistab esimene tilk, mis tekib mõõtesilindrisse. Võetakse mahu aurustumistemperatuurid vahemikus 10%-90%, lisaks

temperatuuridel 70°C, 100°C ning 150°C aurustunud osa protsent. Keemise lõpptemperatuur saavutatakse kui termomeetri näit hakkab langema. Keedukolbi jäänud jääk mõõdetakse välja, kasutades 5ml mõõtesilindrit. Kao leidmiseks tuleb lahutada 100 protsendist destilleerunud osa ning jääk.

2.3.2. Kinemaatilise viskoossuse mõõtemetoodika

Kinemaatilise viskoossuse määramisel võeti aluseks standard ASTM D445 [14]. Kasutati Cannon - Finske Routine kapillaarviskosimeetrit (joonis 2.2), kapillaari läbimõõduga 0,62mm. Viskosimeetri kalibreerimiskonstant $0,007668 \text{ mm}^2/\text{s}^2$.

Temperatuuri hoiti stabiilsena 40°C juures kasutades Julabo termostaati. Iga kütuse voolamiskiirust kapillaaris mõõdeti kolm korda kasutades elektroonilist stopperit. Saadud tulemustest võeti arvutusteks aritmeetiline keskmine.



Joonis 2.2. Cannon - Finske Routine viskosimeeter koos Julabo termostaadiga

Kütuse kinemaatiline viskoossus ν arvutati kasutades võrrandit [14] :

$$\nu_{40} = C \times t$$

kus ν_{40} - kinemaatiline viskoossus 40°C juures mm²/s;

C - viskosimeetri kalibreerimiskonstant;

t - kütuse voolamise aeg viskosimeetri märkide vahel s.

2.3.3. Tiheduse määramise mõõtemetoodika

Tiheduse määramisel võeti aluseks standard ASTM D4052 [15]. Tihedust mõõdeti nii digitaalse mõõteseadmega DDM-2911 (joonis 2.3) kui ka areomeetriga. Katsekütus sisestati seadmesse ning seadmes oleva kaamera abil veenduti, et mõõtetorustikku ei jääks õhumulle. Seadme töötemperatuur valiti 15°C. Mõõteseadme andis tulemuse g/cm³-des.

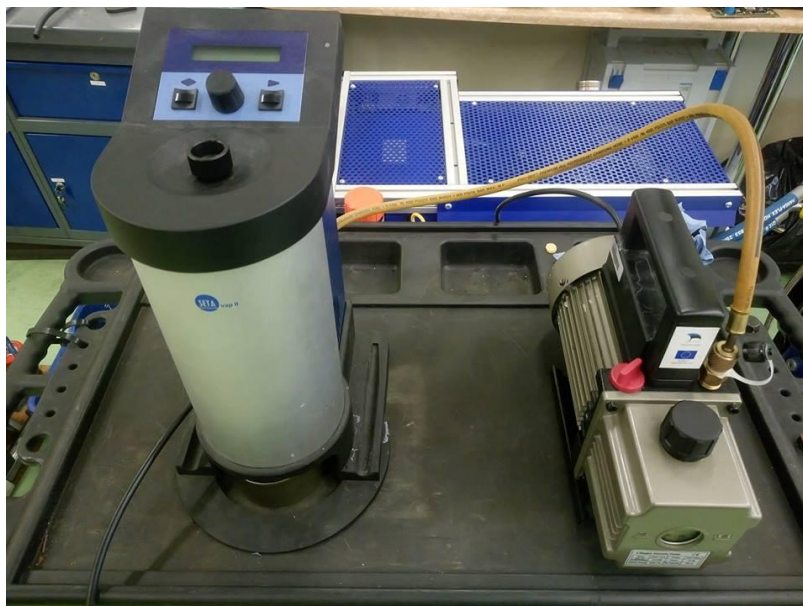
Graafikute koostamisel kasutati digitaalse mõõteseadmega saadud tulemusi.



Joonis 2.3. Mõõteseadme DDM-2911

2.3.4. Aururõhu määramise mõõtemetoodika

Aururõhu määramiseks võeti aluseks standard ASTM D5191 [16]. Aururõhku määrati katseseadmega Setavap 2, mille külge oli ühendatud vaakumpump (joonis 2.4).



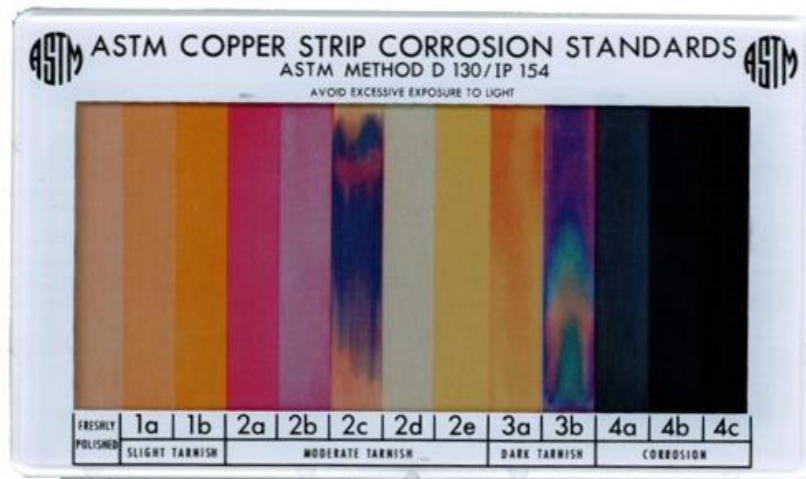
Joonis 2.4. Aururõhu mõõteseade Setavap 2 koos vaakumpumbaga

Esmalt tuli sisestada seadmesse septum ning sisse lülitada vaakumpump. Seejärel tuleb süstla abil süstida 3ml kütust läbi septumi seadme vaakumkambrisse. Seade mõõdab aururõhku ning umbes 4-5 minuti jooksul saadakse vastus. Tulemust on võimalik ka välja printida. Enne järgmist katset tühjendab masin jäägid anumasse, mis asub seadme all. Ühe septumiga on soovitatav teha kuni kolm katset, pärast seda tekib oht et septum ei ole õhutihe ning tulemused võivad osutuda valeks. Töö käigus tehti iga mõõtmise uue septumiga.

2.3.5. Korrosiivsuse määramise metoodika

Kütusesegude korrosiivsuse mõõtmiseks teostati vaskpladikatse, mille aluseks on standard ASTM D130 [17]. Esmalt valmistati ette vaskplaadi pinnad. Selleks kasutati 65 μ ja 105 μ tera suurusega liivapaberit. Pärast seda puhastati pinnad isooktaaniga. Tuleb veenduda, et vaskplaate ei puudutataks palja käega, kuna see võib mõjutada katsetulemust.

Vaskplaadid asetati katseklaasi, mille sisse valati katsekütus. Kütuse kogus peab olema selline, et vaskplaat jääks vähemalt 5mm allapoole kütusest. Seejärel asetati katseklaasid 50°C vee sisse 3 tunniks.



Joonis 2.5. ASTM vaskplaadi korrosiooni standard [18]

Pärast 3 tunni möödumist võeti plaadid välja ning võrreldi neid ASTM vaskplaadi korrosiooni standarditega (joonis 2.5).

2.4. Mootorikatsetused

2.4.1. Mõõtemetoodika

Katsemootoriks kasutati Audi A4 1,8 ADR mootorit, mille tehaseandmed on välja toodud tabelis 2.2.

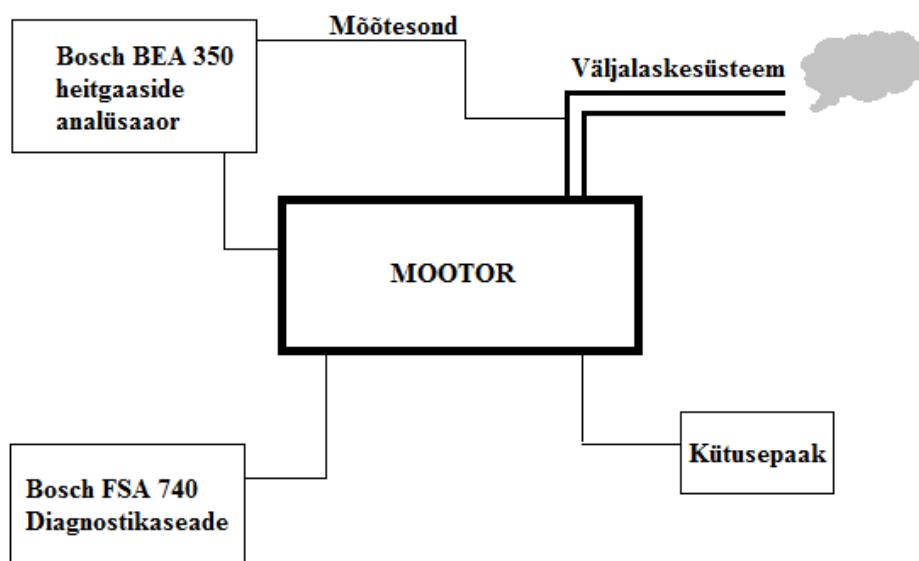
Tabel 2.2. Katsemootori Audi A4 1,8 ADR tehaseandmed [19]

Nimetus	Ühik	Väärtus
Mark	-	Audi ADR
Toitesüsteem	-	Bosch Motronic 3.2
Nimivõimsus	kW	92
Mootori maht	cm ³	1781

Tabel 2.2. järg

Nimetus	Ühik	Väärtus
Silindrite arv	-	4
Surveaste	-	10,3
Kolvi läbimõõt	mm	81
Kolvikäik	mm	86,4

Katsemootor viidi töötemperatuurile 90°C. Selleks kasutati mootoribensiini 95. Kütusepaagina kasutati 10l kraaniga plastikkanistrit, mis ühendati olemasoleva kütusepaagi asemele, võimalikult lähedale kütusepumbale. Kui mootor oli saavutanud töötemperatuuri, vahetati kanistris mootoribensiin katsekütuse vastu. Kütusepumba releed kasutades pumbati süsteem eelnevast kütusest tühjaks ning sisestati mootorisse uus katsekütus, et vältida eelneva kütusesegu jäämist süsteemi. Katse põhimõtteskeem on välja toodud joonisel 2.6.



Joonis 2.6 Mootorikatse põhimõtteskeem

Katsetused viidi läbi mõõtemetoodika MM04-2005 põhjal. Eelkatsetustel selgus, et katalüsaator ei tööta. Seetõttu eemaldati see katsetuste läbiviimise ajaks süsteemist. Katsetamine toimus koormuseta. Mootori pöörlemissagedusteks valiti 800 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm ja 3000 rpm. Iga pöörlemissagedusega mõõdeti 5 tulemust 10

sekundiliste vahedega. Saadud tulemustest võeti graafikute koostamiseks aritmeetiline keskmine. Mootori seadistust ei muudetud erinevate katsekütuste kasutamisel.

2.4.2. Heitgaaside mõõtmine

Mootori parameetrite jälgimiseks kasutati diagnostikaseadet Bosch FSA 740 (joonis 2.7). See on mootori diagnostikaseade, mille abil on võimalik lugeda ja kustutada mootori veakoode ning jälgida mootori parameetreid reaajas.



Joonis 2.7. Bosch FSA 740 diagnostikaseade

Seade saab ühendust mootoriga läbi OBD (*on-board diagnostics*) pistiku, mis saadab andmed edasi *Bluetooth* ühenduse abil. Seega ei pea seade asuma vahetult mootori kõrval. Valikute tegemiseks on võimalik kasutada ka pulti, mis teeb seadme kasutamise väga

mugavaks. Korraga on võimalik jälgida nelja parameetrit. Katsetuste ajal jälgiti mootori temperatuuri, pööreid, süütenurka ning sissepritse kestvust.

Heitgaaside mõõtmiseks kasutati Bosch BEA 350 heitgaaside analüsaatorit (joonis 2.8). Seadmega saab mõõta diisel- ja bensiinimootori heitgaase. Võimalik on mõõta CO, CO₂, HC, O₂, NO_x sisaldust. Seade on varustatud printeriga, mis võimaldab mõõdetud tulemused hõlpsasti välja printida. Seadme juurde kuulub pult, mis suurendab kasutajamugavust.



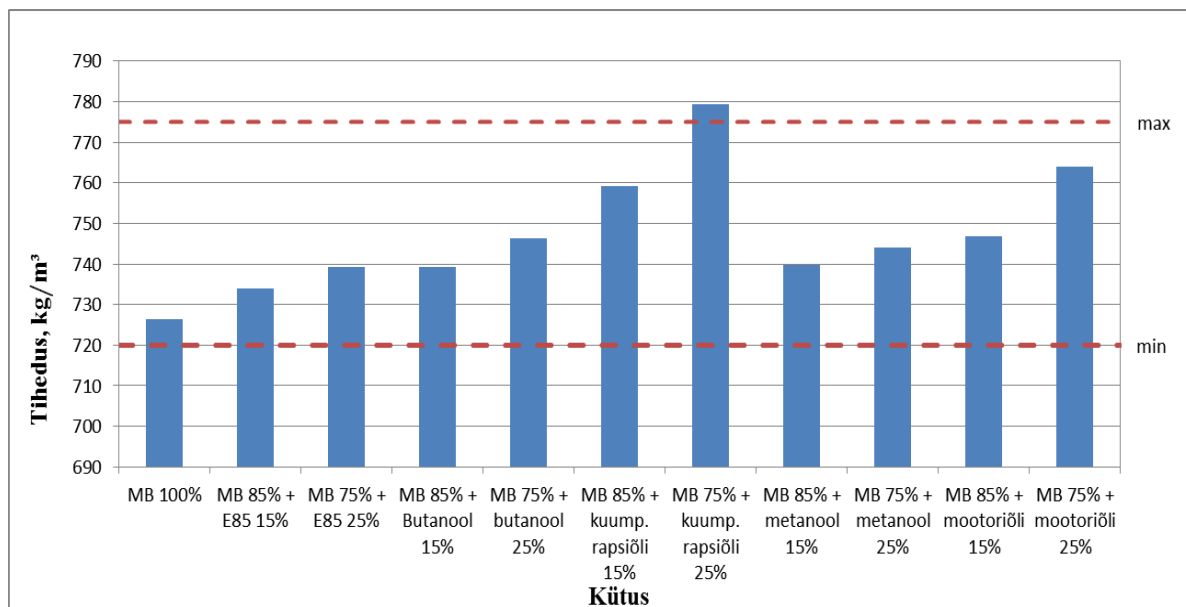
Joonis 2.8 Bosch BEA 350 heitgaaside analüsaator

Esmalt ühendati seadme mõõtevoolik mootori väljalaskesüsteemis oleva väljavõttega. Seejärel tuli ühendada seadme pluss ja miinus klemmid mootori akuga, et oleks võimalik mõõta mootori pöörlemissagedust. Enne katsetusi tuleb lahti ühendada mõõtevoolik seadme tagant, et seade kalibreeriks ennast puhtas õhus. Peale kalibreerimist tuleb voolik tagasi ühendada. Jälgima peab, et mõõtevoolikus ega ka filtrites ei oleks vett, kuna see võib mõjutada katsetulemusi. Mõõtevooliku veest tühjendamiseks kasutati suruõhku.

3. KATSETÖÖDE TULEMUSED JA ANALÜÜS

3.1. Kütusesegude analüüside tulemused

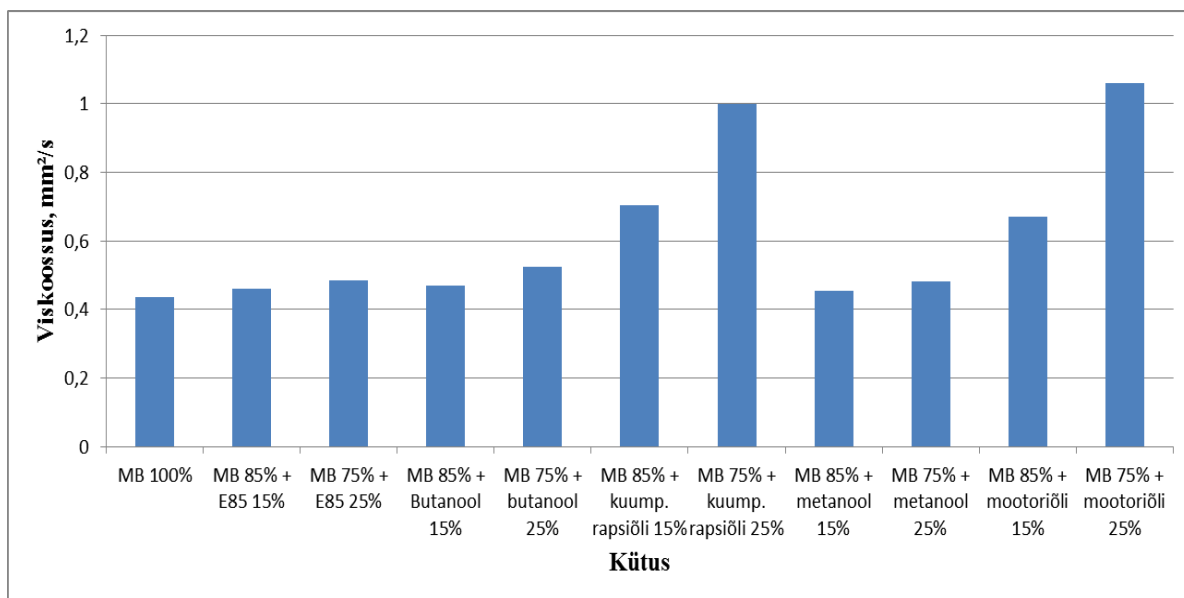
Järgnevalt tuuakse välja tulemused, mis saadi kütuselabori katsetest. Mõõdetud tulemused on välja toodud lisas D. Graafikutel on välja toodud piirnормid, juhul kui need on standarditega määratud. Esmalt käsitletakse katsesegude tihedust. Tulemused on välja toodud joonisel 3.1.



Joonis 3.1 Kütusesegude tihedused ning piirnормid

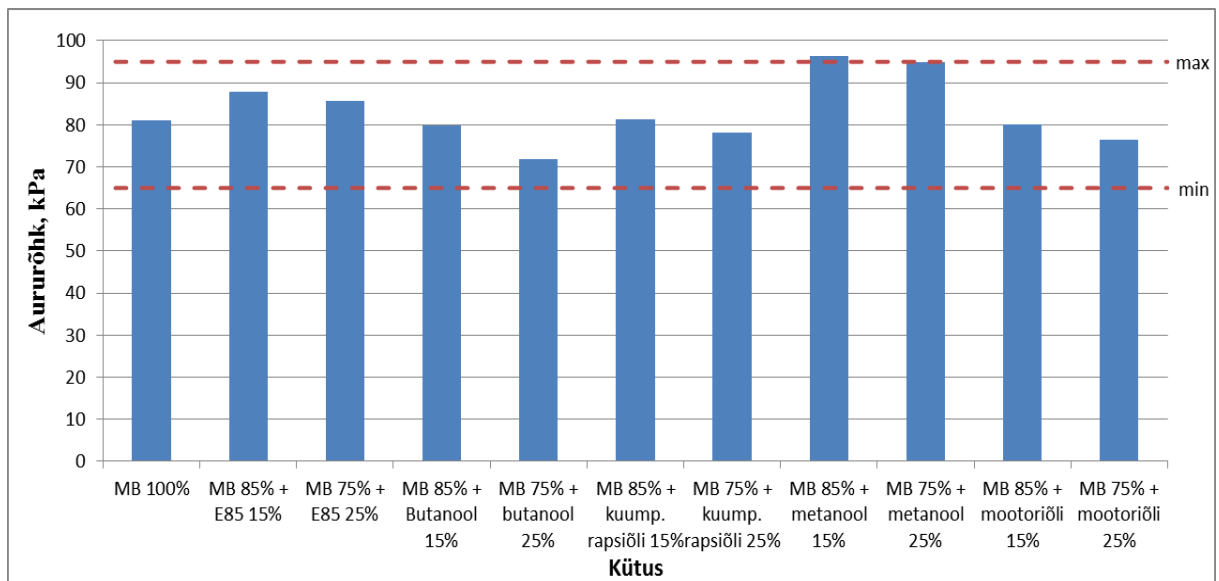
Vastavalt standardile EVS-EN 228:2013 peab pliivaba mootoribensiini tihedus temperatuuril 15°C jääma vahemikku 720-775 kg/m³ kohta [10]. Jooniselt on näha, et kõikide segude tihedused on suuremad kui puhtal mootoribensiinil. Ainsa seguna ei mahu normi piirdesse 25% kuumpressitud rapsiõli kütusesegu. See vastas ka ootustele, kuna rapsiõli tihedus 15°C juures on 916 kg/m³, mis tõstab märgatavalt kogu kütusesegu tihedust [20].

Joonisel 3.2 on välja toodud kütusesegude viskoossused. Katsetulemused ühtivad ka fraktsioonikoostise mõõtmistega. Raskemaid fraktsioone sisaldavad kütused on ka suurema viskoossusega. Kõige suuremad viskoossused on mootoriõli ja kuumpressitud rapsiõli segudel. Teised segud jäävad üsna ligilähedale puhta mootoribensiini tulemusele.



Joonis 3.2. Kütusesegude viskoossused

Joonisel 3.3 on toodud välja kütusesegude aururõhu mõõtmise tulemused. Aururõhk iseloomustab kütuse aurustumisomadusi. Liiga madala aururõhu puhul käivitub mootor halvasti, liiga kõrge aururõhu juures on käivitus kuuma mootoriga raskendatud. Vastavalt standardile EVS-EN 228:2013 peab mootoribensiini aururõhk jääma vahemikku 65-95 kPa[10]. Jooniselt on näha, et metanooli lisamine tõstab aururõhku ning need segud jäävad maksimaalse piirnõrmi lähedale. Butanooli, rapsiõli ning mootoriõli segude puhul on märgata aururõhu vähenemist, seda just 25% segude puhul.



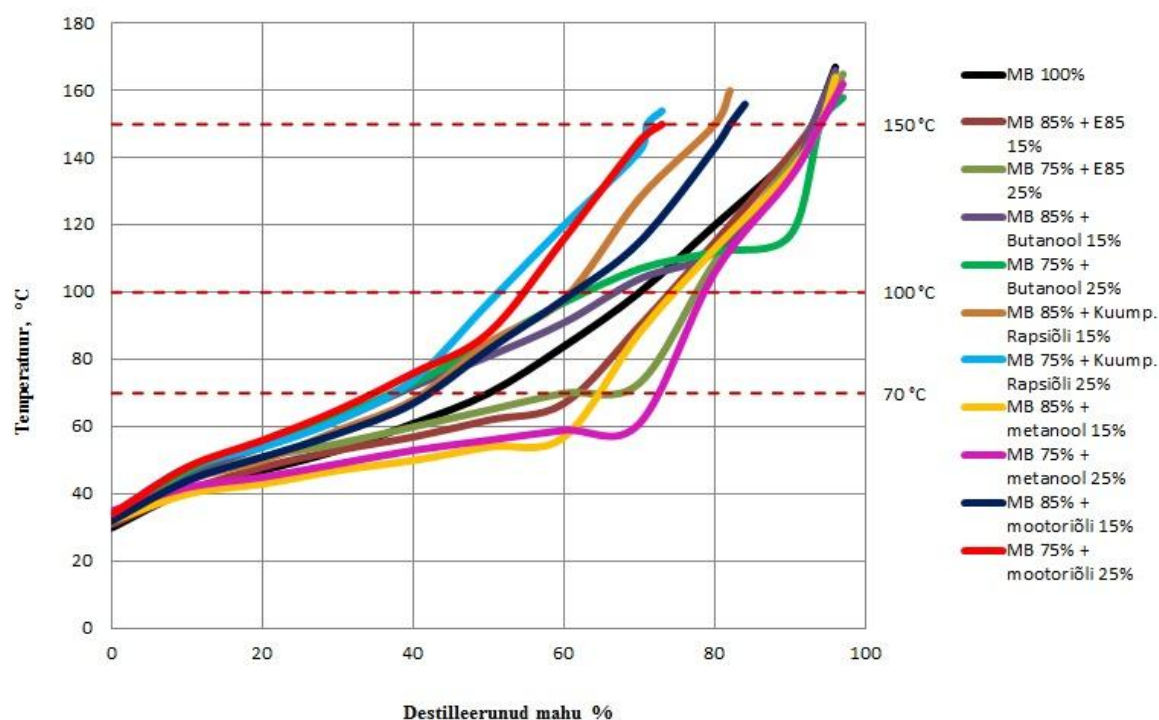
Joonis 3.3. Kütusesegude aururõhk

Joonisel 3.4 on välja toodud katsekütuste fraktsioonikoostised. Fraktsioonikoostis iseloomustab bensiini auravust. Sellest sõltuvad mootori käivitusomadused, mootori töötamise stabiilsus ning kütuse ladustamisel tekkivad kaod. Jooniselt on näha, et keemise alguse temperatuurid olid kütustel üsna sarnased jäädes vahemikku 30-35°C. Madalam keemise temperatuur soodustab mootori käivitust. Katsekütuste üsna väike erinevus keemistemperatuurides oli märgata mootorikatsetustes, kuna ühegi kütuseseguga ei olnud mootori käivitamisel probleeme.

Aurustumine 70°C juures iseloomustab mootori külmkäivitust. Väikese aurustumise korral on külma mootori käivitamine raskendatud. Suurem aurustumine kui 50% võib vähendada mootori võimsust, kuna tekivad aurukorgid. Jooniselt on näha väga suurt erinevust katsekütuste vahel. Kõige madalam aurustumine on mootoriõli 25% segul, kõige suurem aga metanooli 25% segul. Kuna mootorilabori katsetused toimusid mootori töötemperatuuril 90°C siis ei saa hinnata kütusesegude mõju mootori külmkäivitusele [8].

Aurustumine 100°C juures iseloomustab, kui kiiresti mootor saavutab töötemperatuuri ning kui stabiilselt mootor töötab [8].

Aurustumine 150°C juures näitab raskete fraktsioonide olemasolu kütuses. Mida väiksem on kütuse aurustumine, seda rohkem on raskeid fraktsioone kütuses.

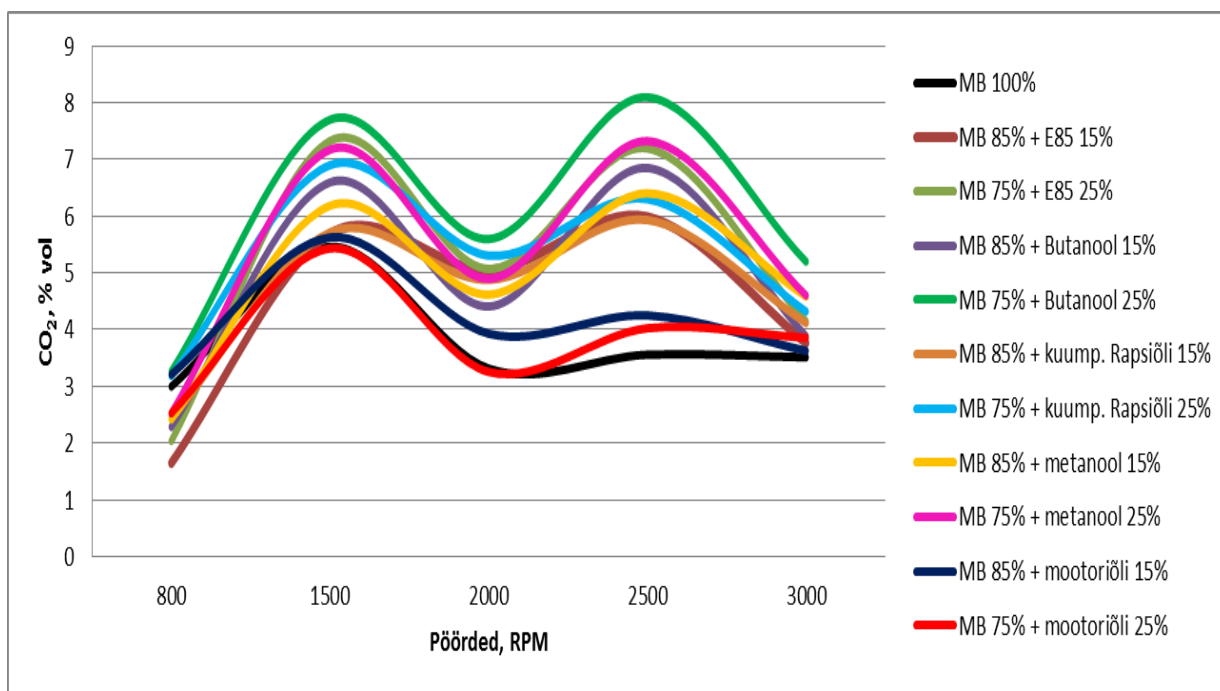


Joonis 3.4. Kütusesegude fraktsioonikoostised

Jooniselt on näha, et kuumpressitud rapsiõli ning mootoriõli kütusesegudes on raskete fraktsioonide osakaal väga suur, aurustunud osa jääb vaid 71-82% vahele. Sellest tulenevalt on ka nende segude puhul destillatsioonijääk väga suur. See tähendab, et jääkained ei põle ära ning mootori detailidele tekib rohkem tahma, mis omakorda takistab detailide õlitust ning suurendab nende kulumist.[8]

3.2. Mootorikatsete tulemused

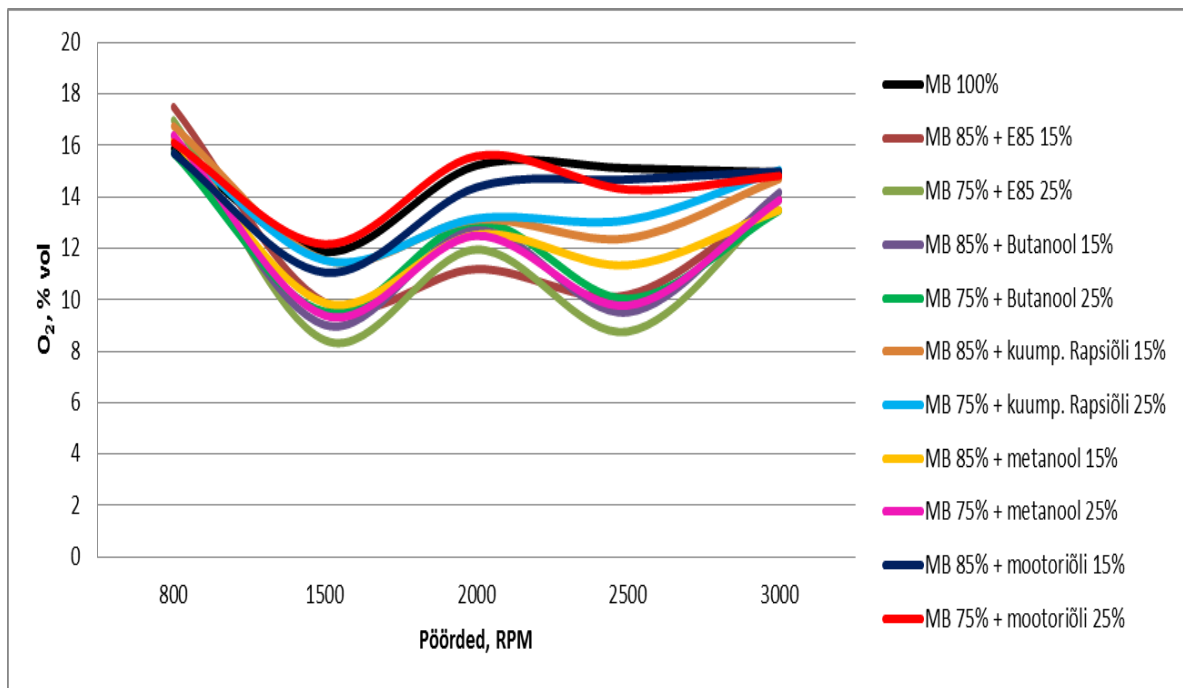
Järgnevalt tuuakse välja katsetulemused, mis saadi mootorilabori katsetustest. Joonisel 3.5 on välja toodud CO₂ sisaldus heitgaasides vastavalt mootori pöörlemissagedusele.



Joonis 3.5. CO₂ sisaldus mootori heitgaasides

Jooniselt on näha, et tühikäigul on peaaegu kõikide segude puhul CO₂ sisaldus väiksem puhta mootoribensiini omast. Pöörlemissageduse suurenedes tõuseb süsinikdioksiidi osakaal heitgaasides. Kui mootoriõli ja puhta mootoribensiini mõõtetulemused on üsna ligilähedased kogu mõõtmise ajal, siis teiste segude puhul on näha CO₂ sisalduse kasvu. Kõige suurem CO₂ sisaldus oli butanooli 25% kütusesegul. Kuna CO₂ koos veeauruga on põlemisjäägid, siis võib järeldada, et selle segu puhul oli põlemine kõige täielikum. See on tingitud ka alkoholide suuremast süsivesinike sisaldusest, mis aitavad kaasa põlemisprotsessile.

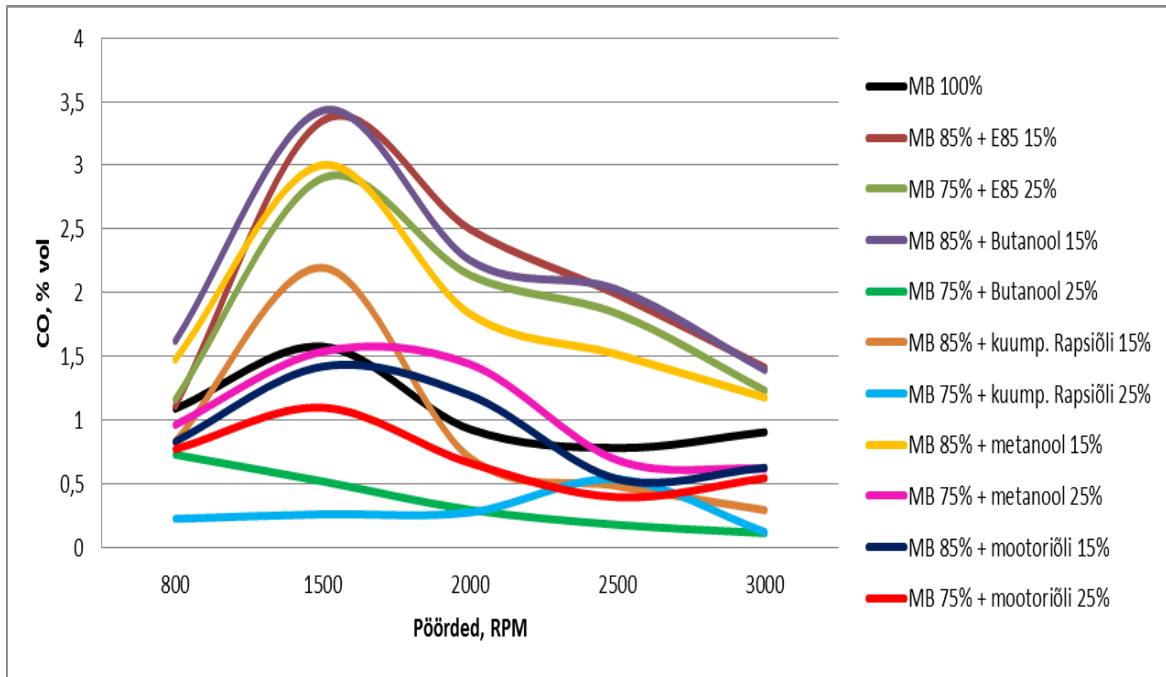
Järgnevalt on joonisel 3.6 välja toodud O₂ mõõtmistulemused. Mida täielikum on põlemine, seda väiksem on O₂ sisaldus, kuna põlemisprotsessi käigus kasutatakse hapnik ära.



Joonis 3.6. Hapniku sisaldus mootori heitgaasides

Joonisel on näha, et tulemused lähevad kokku ka CO₂ mõõtmistulemustega. Alkoholidel puhul on hapniku sisaldus kõige väiksem. Kuumpressitud rapsiõli segud vähendasid samuti hapniku sisaldust heitgaasides. Mootoriõli segude puhul on hapnikusisaldus kõige suurem. Järelikult ei muutnud need segud suurel määral kütuse põlemisomadusi. Nagu ka eelneval graafikul, on nende tulemus sarnane puhta mootoribensiini tulemusega. Kõige madalam hapnikusisaldus on E85 25% segul.

Joonisel 3.7 on välja toodud CO ehk vingugaasi sisaldus heitgaasides. Vingugaas on lõhnatu ja värvitu gaas, mis tekib mittetäieliku põlemise korral. Rikka segu korral pole põlemiseks piisavalt hapniku ning kütuses olevad süsivesinikud reageerivad vingugaasiks.

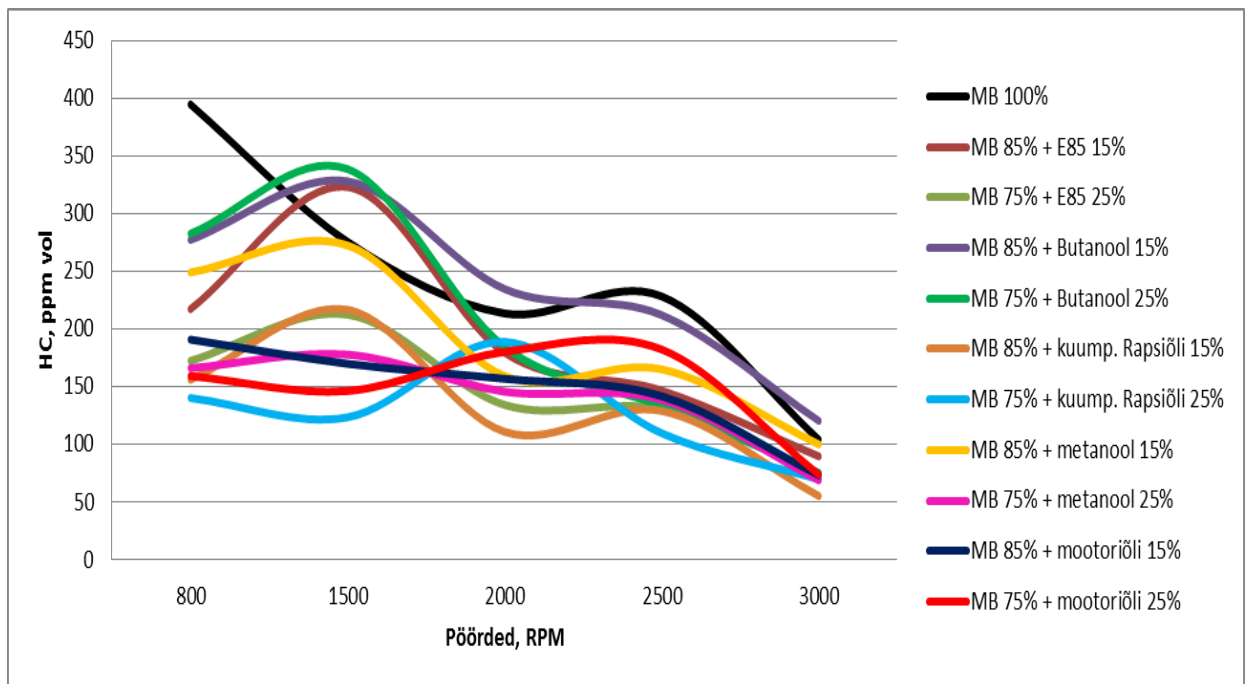


Joonis 3.7. Vingugaasi sisaldus mootori heitgaasides

Jooniselt on näha, et vingugaasi sisaldus on kõrgem just $\sim 1500 \text{ min}^{-1}$ juures. Butanooli 15% segul on kõrgeim tulemus 3,4% vol. Mootori pöörlemissageduse suurenedes väheneb ka CO sisaldus. Sarnane tulemus on ka E85 15% seguga. Kõige väiksem vingugaasi sisaldus heitgaasides on kuumpressitud rapsiõli 25% ning butanooli 25% segul. Sarnaselt eelmistele mõõtmistele on mootoriõliga tehtud mõõtmised sarnased puhta mootoribensiini tulemustele. Kuna rapsiõli sisaldab ligi 10% hapnikku võrreldes mootoribensiiniga (2,57%), siis aitab see kaasa täielikumale põlemisprotsessile ning CO tekib vähem. Butanooli hapnikusisaldus on 21,6% ning on näha, et see soodustab täielikku põlemist ning vingugaasi osakaal heitgaasides on vähenenud [21].

Kindlasti mängib rolli katalüsaatori puudumine väljalaskesüsteemist. Katalüsaator on mõeldud keskkonda saastavate heitgaaside vähendamiseks. Katalüsaatori sisepinna moodustab keraamiline kärg, mille pind on kaetud väärismetalli, näiteks platinaga. Aktiivne metall reageerib heitgaasides oleva CO, NO_x ja HC ühenditega ning lõhustab need keskkonnale kahjututeks aineteks [22].

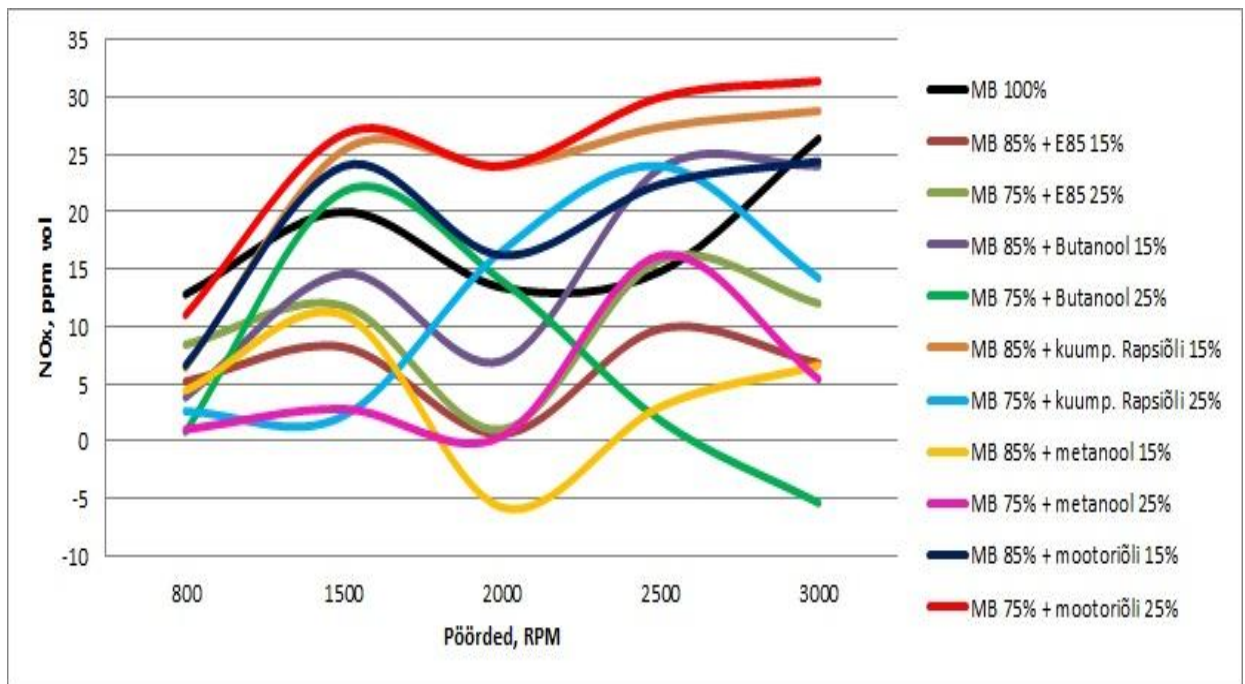
Joonisel 3.8 on välja toodud vesinikuühendite (HC) sisaldus heitgaasides. Ebatäielik põlemine ning CO suurenemine mõjutavad vesinikuühendite osakaalu.



Joonis 3.8. HC sisaldus mootori heitgaasides

Jooniselt on näha, et tulemused vastavad CO mõõtmistulemustele. Suurem CO sisaldus heitgaasides kajastub vesinikuühendite tulemusel. 1500 min⁻¹ juures on butanooli segude puhul märgata suurenenud HC sisaldust. Samuti E85 15% seguga. Ülejäänud segude puhul on näha vesinikuühendite väiksemat osakaalu võrreldes puhta mootoribensiiniga. Kõikide segude juures tuleb välja, et tühikäigul on HC sisaldus heitgaasides oluliselt väiksem mootoribensiini HC sisaldusest. Kõige vähem on heitgaasides vesinikuühendeid kuumpressitud rapsiõli 25% kütuseseguga. Tühikäigul mõõdetud tulemused erinevad puhtast mootoribensiinist ligi 3 korda. Sarnaselt Prantsuse d'Orléansi ülikoolis teostatud uuringule vähendas butanooli lisamine mootoribensiinile HC emissiooni.

Joonisel 3.9 on välja toodud lämmastikuühendite osakaal mootori heitgaasides.



Joonis 3.9. NO_x sisaldus mootori heitgaasides

Jooniselt on näha, et erinevate küttesegude tulemused varieeruvad väga palju. Katse käigus saadi mõõtmistel sama kütteseguga erinevaid tulemusi. Metanooli 15% ning butanooli 25% segul langes näit isegi alla 0 ppm. See võib olla tingitud alkoholide madalamast põlemistemperatuurist. Kui heitgaasid jahtuvad enne mõõtmisseadmesse jõudmist liialt maha, võib saada vale mõõtmistulemuse. Samuti on võimalik, et mõõteseadme Bosch BEA 350 kalibreerimise hetkel oli õhus suurem lämmastikuisaldus, kuna seade võrdleb heitgaaside NO_x sisaldust ruumi õhus oleva NO_x sisaldusega. Välja toodud andmeid analüüsides võib öelda, et tühikäigul vähenes kõikide segude NO_x sisaldus suurel määral. Pöörlemissageduse suurenedes tekkisid erinevused. Alkoholide segud üldjuhul vähendasid lämmastikuisaldust heitgaasides, kuid rapsiõli ning mootoriõli kütusesegud suurendasid NO_x sisaldust.

KOKKUVÕTE

Lõputööle püstitatud ülesannete käigus uuriti mootoribensiini ning biokütuste tootmise viise ning protsesse. Lisaks teostati katseid erinevate kütuste segunemise hindamiseks ja teostati kütuselaboris fraktsioonikoostise, tiheduse, viskoossuse, korrosiivsuse ning aururõhu mõõtmised.

Töö eesmärgiks oli uurida mootoribensiini ja biokütuste segude mõju sädesüütega mootori heitgaaside emissioonile. Heitgaaside koostises vaadeldi viit parameetrit. CO, CO₂, NO_x, HC ning O₂.

Uurimistöö teostamiseks kasutati Eesti Maaülikooli mootorilaboris olemasolevat Audi ADR 1,8l bensiinimootorit. Viis erinevat kütust (E85, metanool, butanool, kuumpressitud rapsiõli ning mootoriõli) segati mootoribensiiniga 95 kahes mahuprotsendis (15% ja 25%). Saadud kütusesegudega teostati heitgaaside mõõtmised. Katsemootori seadistust ei muudetud. Mõõtmised teostati ilma koormuseta ning viiel erineval mootori pöörlemissagedusel. Katsete tulemusi analüüsiti ning tulemusteks saadi:

1. Süsinikdioksiidi (CO₂) sisaldus heitgaasides suurenes kõikide katsekütustega.
2. Mootoriõli 25% lisamine mootoribensiinile vähendas CO osakaalu heitgaasides 28%.
3. Kuumpressitud rapsiõli 25% lisamine mootoribensiinile vähendas tühikäigul CO osakaalu heitgaasides 80% .
4. Tühikäigul vähenes lämmastikoksiidide (NO_x) osakaal kõikide segude puhul.
5. HC sisaldus heitgaasides vähenes kõikide segude puhul. Mida väiksem oli mootori pöörlemissagedus, seda suurem oli erinevus võrreldes puhta mootoribensiiniga.
6. Õlide lisamine mootoribensiinile suurendas pöörlemissageduse suurenedes lämmastikuühendite (NO_x) osakaalu heitgaasides.
7. Kuumpressitud rapsiõli 25% ning butanooli 25% segud muutsid põlemisprotsessi paremaks.

Heitgaaside mõõtmise ajal halvenes metanooli segude puhul mootori ühtlane töötamine. Võib arvata, et see on tingitud valest kütuse-õhu segust, kuna metanool sisaldab rohkem

hapnikku kui mootoribensiin. Mootori ühtlasemat töötamist saaks parandada küttesegu muutmisega.

Tulemuste põhjal võib väita, et kuumpressitud rapsiõli ning butanooli 25% lisamine mootoribensiinile parandasid heitgaaside emissiooni. See võib olla tingitud sobivamast hapnikusisaldusest. Selliste mootori seadistuste juures näitasid need kütusesegud kõige paremaid tulemusi. Kuigi metanooli hapnikusisaldus on veel kõrgem, eeldab suurem hapnikusisaldus teistsugust küttesegu moodustamist.

Autori soovitusel edaspidiseks mootoribensiini ja biokütuste segude mõju mootori heitgaaside emissioonile uurimiseks:

1. Teostada katsetused toimiva katalüsaatoriga.
2. Uurida mootori seadistuse muutmise mõju samade kütusesegudega.
3. Teha võrdlevad katsed teiste mahuprotsentidega.
4. Uurida kütusekulu erinevate kütusesegudega.
5. Uurida heitgaaside emissiooni koormatud mootoriga.

INFLUENCE OF GASOLINE AND BIOFUEL MIXTURE TO SPARK-IGNITION ENGINE'S EXHAUST EMISSION

Summary

The purpose of this thesis was to investigate influence of gasoline and biofuel blends to spark-ignition engine's exhaust emission.

To reach the goal of this research, different tasks were set. In the first chapter an overview of gasoline manufacturing was given. Also information about biofuels and production. Second chapter includes testing methods and equipment needed. Before any testing different biofuels were mixed with gasoline to see if they blend or not. From those results 5 components were chosen (fuel E85, butanol, methanol, rapeseed oil and motor oil). Those fuels were mixed with regular gasoline 95 in 2 volume – 15% and 25%.

Laboratory tests included distillation characteristics, vapor pressure, kinematic viscosity, density and corrosivness to copper. Each test was performed with every fuel mixture. Engine tests were performed on an Audi ADR 1.8l gasoline engine. In order to measure exhaust gases, Bosch BEA gas analyzer was used. Real-time engine parameters were monitored using Bosch FSA diagnostics tool which connected to the engine by OBD cable.

Gas analyzer measured CO, CO₂, NO_x, O₂ and HC in engines exhaust gases. Tests were performed on different engine speeds – idle, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm and 3000 rpm.

The results showed that adding biofuels to gasoline increases CO₂ levels in exhaust gases. Engine oil 25% mixture decreased CO level by 28% compared to pure gasoline. HC level decreased with every mixture. With lower rpm the results were better but as the engine rpm rised the results got more similar to regular gasoline. Rapeseed oil and butanol mixtures showed best results. CO level decreased and CO₂ level increased, which indicates that burning process was better.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html> (24.03.2017).
2. Kütuse tarbimine kütuse liigi järgi. Eesti Statistikaamet. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.stat.ee/34173> (24.03.2017).
3. **J. Dernotte, C. Mounaim-Rousselle, F. Halter, P. Seers.** Evaluation of Butanol-Gasoline Blends in a Port Fuel-injection, Spark-Ignition Engine. (2010). [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://ogst.ifpenergiesnouvelles.fr/articles/ogst/pdf/2010/02/ogst09008.pdf> (27.03.2017).
4. Energy explained. U.S Energy Information Administration. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm/data/index.cfm?page=oil_home (27.03.2017).
5. **Koha, E., Pikner, A.** (1988). Kütused ja määrdeained – Teine, ümbertöötatud trükk. Tallinn .160 lk.
6. „Fuels from crude oil“. BBC. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/aqa_pre_2011/rocks/fuelsrev3.shtml (28.03.2017).
7. **K. Ritslaid.** Krakkimine. Õpiobjekt. (2009). [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: http://www.eava.ee/opiobjektid/mto/aerokytus/193_krakkimine.html (05.04.2017).
8. TT labor. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.ttlabor.ee/lisa2.html> (21.04.2017)
9. Biokütus. Eesti Entsüklopeedia. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://entsyklopeedia.ee/artikkel/biok%C3%BCtus> (05.04.2017).
10. **Dogan, B., Erol, D., Kodanli, E., Yaman, H.** (2017). The effect of ethanol-gasoline blends on performance and exhaust emissions of a spark ignition engine through exergy analysis. - *Applied Thermal Engineering*. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431117322251> (29.05.2017).
11. Vedelad biokütused. Energiatalgud.(2016). [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: https://energiatalgud.ee/index.php?title=Vedelad_biok%C3%BCtused (16.04.2017).
12. EVS-EN 228/NA:2013. Mootorikütused. Pliivaba mootoribensiin. Nõuded ja katsemeetodid. Eesti standardi rahvuslik lisa.
13. ASTM D 86. Petroleum products. Determination of distillation characteristics at atmospheric pressure. Naftasaadused. Destillatsioonikarakteristikute määramine normaalarõhul.
14. ASTM D445. Petroleum products. Transparent and opaque liquids. Determination of kinematic viscosity and calculation dynamic viscosity. Kinemaatilise viskoossuse määramine.

15. ASTM D4052. Standard Test Method for Density, Relative density, and API(Gravity of Liquids by Digital Density Meter. Tiheduse määramine digitaalmõõturiga.
16. ASTM D5191 Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products. Aururõhu määramine.
17. ASTM D130. Standard Test Method for Corrosivness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test. Korrosiivsus vaskplaadikatsel.
18. Copper Corrosion Bath. PM Tamson Instruments. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.tamson-instruments.com/index.php/products/astm-apparatuur/astm-d130/astm-d130-tc16-circulator-230v-50hz-60hz#> (20.04.2017).
19. Audi A4 (B5) 1.8 Engine Technical Data. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: [https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Audi/3804/Audi-A4-\(B5\)-18.html](https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Audi/3804/Audi-A4-(B5)-18.html) (22.05.2017)
19. **Sõõro, T.** (2009). Rapsiõli – diiselmootori üks alternatiivkütuseid. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: http://agrt.emu.ee/pdf/2009_1_sooro.pdf (20.04.2017).
20. TT labor. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.ttlabor.ee/lisa2.html> (21.04.2017)
21. **Hönig, V., Kotek, M., Marik, J.** Use of butanol as a fuel for internal combustion engines. Agronomy Research. (2014). [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: http://agronomy.emu.ee/vol122/2014_2_4_b5.pdf (23.04.2017).
22. Katalüsaator.[Võrgumaterjal]. Kättesaadav: www.staff.ttu.ee/~asiirde/Loengud/autodiagnostika/loeng%205.doc (22.05.2017).

LISAD

LISA A. Mootoribensiini katseprotokoll



Certificate of quality Nr. 119748

UNLEADED PETROL "Premium" grade 95 with oxygen of 2,7 % (m/m), class D

Standard: LST EN 228:2013

KN: 27101245

Certificate of quality Registration Date: 2016-12-02

Sampling date: 2016-12-02

Level: 939 Tank No: RZ-49

Property	Norm	In fact	Test method
1. Research octane number, RON, min.	95,0 *	96,0	LST EN ISO 5164
2. Motor octane number, MON, min.	85,0 *	85,3	LST EN ISO 5163
3. Lead content, mg/l, max	5,0	below 2,5	LST EN 237
4. Density at 15 °C, kg/m³	720,0 - 775,0	724,9	LST EN ISO 3675
5. Sulfur content, mg/kg, max	10,0	6,5	LST EN ISO 12185
6. Sulfur content, mg/l, max	2,0	below 2,0	LST EN ISO 20846
7. Oxidation stability, minutes, min.	360	360	LST EN 16135
8. Existent gum content (solvent washed), mg/100 ml, max.	5	1	LST EN ISO 7536
9. Copper strip corrosion (3 h at 50 °C), rating, max.	class 1	1a	LST EN ISO 6246
10. Apperance	clear and bright	clear and bright	LST EN ISO 2160
11. Hydrocarbon type content, % (v/v), max:			visual
olefins	18,0	13,7	LST EN ISO 22854
aromatics	35,0	21,9	
12. Benzene content, % (v/v), max.	1,00	0,74	LST EN ISO 22854
13. Oxygen content, % (m/m), max	2,7	2,57	LST EN ISO 22854
14. Oxygenates content, % (v/v), max:			LST EN ISO 22854
methanol	3,0	0	
ethanol	5,0	0	
iso-propyl alcohol	Volume blending	0,11	
iso-butyl alcohol	restricted to	0	
tert-butyl alcohol	2,7 % (m/m)	0	
ethers (5 or more C-atoms):	maximum	*	
- MTBE	oxygen	13,53	
- ETBE	content	0	
- MTAE (TAME)		0	
other oxygenates		0	
15. Vapour pressure, (VP), kPa	60,0 - 90,0	81,5	LST EN 13016-1
16. Distillation:			LST EN ISO 3405
evaporated at 70 °C (E 70), % (v/v)	22,0 - 50,0	48,1	
evaporated at 100 °C (E 100), % (v/v)	46,0 - 71,0	69,9	
evaporated at 150 °C (E 150), % (v/v), min	75,0	94,5	
final boiling point (FBP), °C, max	210	174	
distillation residue, % (v/v), max	2	1	
17. Vapour Lock Index, VLI	no normed	1152	LST EN 228

p.5.6.2

Public Company ORLEN Lietuva, being fully responsible as the manufacturer, hereby certifies that "UNLEADED PETROL "Premium" grade 95 with oxygen of 2,7 % (m/m), class D", related to this declaration, corresponds to the requirements of LST EN 228:2013.

* Correction factor is applied to values MON and RON according to the requirements of note b) of table 2 of LST EN 228.



Sigita Žilinskienė

Sigita Žilinskienė
Chemical Engineer

Product to railway tank Nr.: 51157493, 51689735 loadent from tank RZ-49

LISA B. Mootoribensiini sertifikaat

AS Kroodi Terminal 10743363 Kommertsiladu Registreering nr. VKH000039
Üleoru tee 1, Maardu
KAUBA SAATELEHT Nr. 5774 18. detsember 2016. a.
Saaja: Alexela Oil AS Reg.n.: 10034715
Roseni tn 13 Tallinn 10111
Volitus nr.: AQ07425 18.12.16
Omanik: ORLEN Eesti OÜ Reg.n.: 10960209 Turuluba nr.: VKM000751
Ahtri 6A, Tallinna linn, Harju maakond, 10151
Vedaja: TREKTAL AS Reg.n.: 10230899
Vastavussertifikaat: Orlen Lietuva Nr.: ORL 119748 Kuupäev: 02. detsember 2016. a.
Deklaratsioon nr.:
Pealelaadimiskoht / uleandmiskoht: Üleoru 1, Maardu Harjumaa
Mahalaadimiskoht: Tuglase F. Tuglase 19 Tartu 51014
Auto nr.: 260MKI/535GO Haagis:
Autojuht: Nahk Andrus

Nimetus	kogus (l)	tihed.(15C)	temp., C	VCF(T-54-B)	kogus (kg)
bensiin 95 vaavlivaba	7000	0,7263	0,00	1,0188	5180

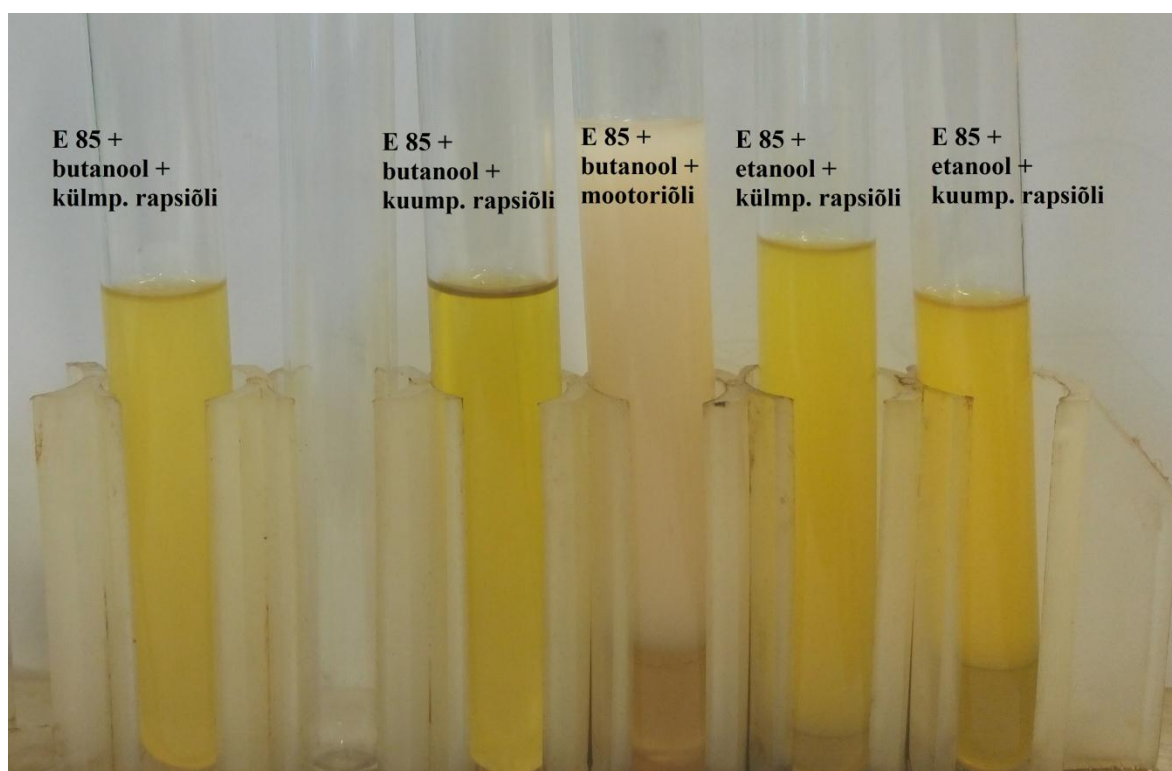
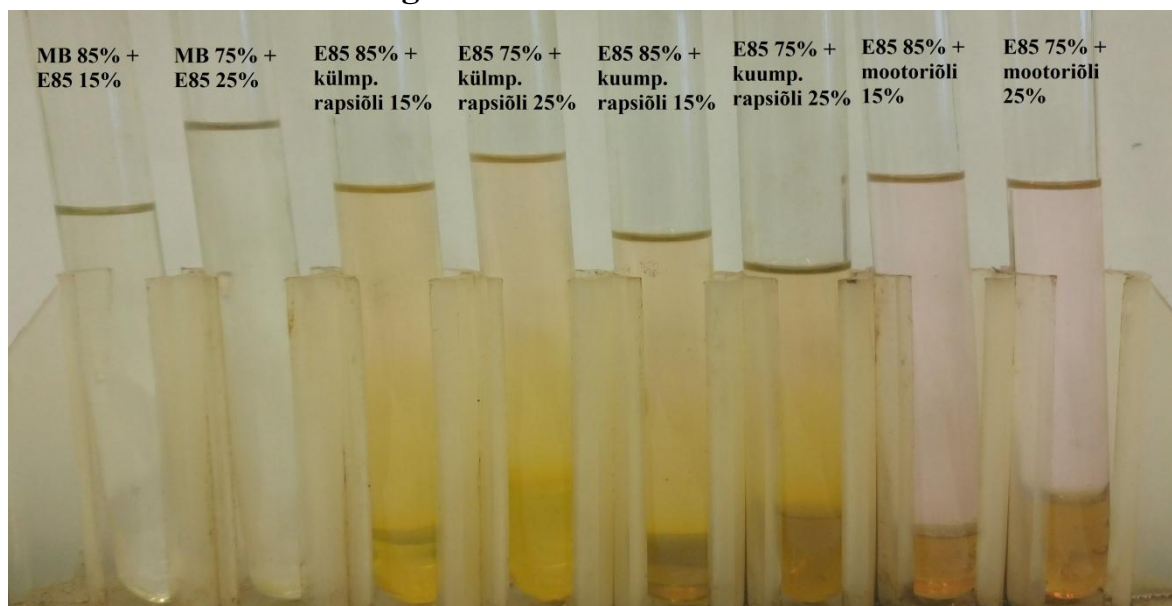
KÜTUS VASTAB KEHTESTATUD NÕUETELE.

Andis välja:



Võttis vastu:

LISA C. Katsekütuste segunemise hindamine



LISA D. Katsesegude kütuselabori mõõtmistulemused

	MB 100%	MB 85% + E85 15%	MB 75% + E85 25%	MB 85% + Butanool 15%	MB 75% + butanool 25%
Tihedus	725,8 kg/m³ manuaalne 726,3 kg/m³ digitaalne	733,1 kg/m³ manuaalne 733,9 kg/m³ digitaalne	734,2 kg/m³ manuaalne 739,2 kg/m³ digitaalne	738,3 kg/m³ manuaalne 739,2 kg/m³ digitaalne	744,3 kg/m³ manuaalne 746,3 kg/m³ digitaalne
Viskoossus	0,435 mm²/s	0,462 mm²/s	0,485 mm²/s	0,469 mm²/s	0,524 mm²/s
Korrosiivsus	1a	1a	1a	1a	1a
Välimus	selge, läbipaistev	selge, läbipaistev	selge, läbipaistev	selge, läbipaistev	selge, läbipaistev
Keemise algus t°	30°C	31°C	34°C	34°C	33°C
Temperatuuril 70°C aurustunud osa E70	50%	65%	60%	39%	36%
Temperatuuril 100°C aurustunud osa E100	70%	72%	79%	67%	64%
Temperatuuril 150°C aurustunud osa E150	93%	93%	94%	93%	94%
Keemise lõpp t°	167°C	162°C	165°C	166°C	158°C
Destillatsioonijääk	1,1%	1,5%	1,3%	1,2%	1,4%
Aururõhk	81,1 kPa	87,8 kPa	85,6 kPa	79,9 kPa	71,9 kPa

	MB 85% + kuump. rapsiõli 15%	MB 75% + kuump. rapsiõli 25%	MB 85% + metanool 15%	MB 75% + metanool 25%	MB 85% + mootoriõli 15%	MB 75% + mootoriõli 25%
Tihedus	757,9 kg/m³ manuaalne 759,1 kg/m³ digitaalne	778,5 kg/m³ manuaalne 779,3 kg/m³ digitaalne	736,5 kg/m³ manuaalne 739,8 kg/m³ digitaalne	743,0 kg/m³ manuaalne 744,1 kg/m³ digitaalne	745,6 kg/m³ manuaalne 746,8 kg/m³ digitaalne	766,1 kg/m³ manuaalne 763,9 kg/m³ digitaalne
Viskoossus	0,705 mm²/s	1,000 mm²/s	0,454 mm²/s	0,482 mm²/s	0,672 mm²/s	1,060 mm²/s
Korrosiivsus	1a	1a	1a	1a	1a	1a
Välimus	selge, läbipaistev	selge, läbipaistev	selge, läbipaistev	selge, läbipaistev	selge, läbipaistev	selge, läbipaistev
Keemise algus t°	32°C	34°C	32°C	35°C	32°C	34°C
Temperatuuril 70°C aurustunud osa E70	41%	37%	65%	77%	42%	35%
Temperatuuril 100°C aurustunud osa E100	61%	52%	76%	79%	61%	54%
Temperatuuril 150°C aurustunud osa E150	80%	71%	94%	94%	82%	73%
Keemise lõpp t°	160°C	154°C	164°C	162°C	156°C	150°C
Destillatsioonijääk	16% sade sees	26% sade sees	1,2%	1,2%	14,10%	25,50%
Aururõhk	81,4 kPa	78,1 kPa	96,3 kPa	94,8 kPa	80,1 kPa	76,4 kPa

LISA E. Heitgaaside mõõtmistulemused

Parameeter	Ühik	MB 100% 800 RPM	MB 100% 1500 RPM	MB 100% 2000 RPM	MB 100% 2500 RPM	MB 100% 3000 RPM
CO-1	mahu %	1,067	1,814	1,076	2,114	1,631
CO-2		1,107	1,212	0,829	0,385	0,735
CO-3		1,078	1,555	0,629	0,425	0,718
CO-4		1,116	1,698	1,005	0,446	0,678
CO-5		1,076	1,603	1,1	0,531	0,763
CO Keskmine		1,0888	1,5764	0,9278	0,7802	0,905
CO ₂ -1	mahu %	3,01	5,23	2,23	2,57	3,44
CO ₂ -2		3,06	5,15	3,3	3,78	3,57
CO ₂ -3		2,97	5,95	3,3	3,54	3,48
CO ₂ -4		2,92	5,43	3,72	4,02	3,56
CO ₂ -5		3,03	5,54	4,01	3,88	3,51
CO₂ Keskmine		2,998	5,46	3,312	3,558	3,512
HC-1	ppm	372	306	200	212	213
HC-2		394	256	203	234	87
HC-3		392	257	234	238	76
HC-4		392	269	230	220	74
HC-5		423	290	200	237	71
HC Keskmine		394,6	275,6	213,4	228,2	104,2
O ₂ -1	mahu %	15,73	11,54	17,19	15,75	14,19
O ₂ -2		15,88	12,02	13,46	14,25	14,96
O ₂ -3		15,93	11,81	15,65	15,49	15,22
O ₂ -4		15,91	11,68	14,79	14,72	15,16
O ₂ -5		15,93	12,22	14,97	15,32	15,22
O₂ Keskmine		15,876	11,854	15,212	15,106	14,95
NO-1	ppm	13	21	12	6	5
NO-2		14	20	12	13	27
NO-3		13	20	14	18	34
NO-4		12	20	14	18	32
NO-5		12	19	15	19	34
NO Keskmine		12,8	20	13,4	14,8	26,4

LISA E. järg

Parameeter	Ühik	MB 85% + E85 15% 800 RPM	MB 85% + E85 15% 1500 RPM	MB 85% + E85 15% 2000 RPM	MB 85% + E85 15% 2500 RPM	MB 85% + E85 15% 3000 RPM	MB 75% + E85 25% 800 RPM	MB 75% + E85 25% 1500 RPM	MB 75% + E85 25% 2000 RPM	MB 75% + E85 25% 2500 RPM	MB 75% + E85 25% 3000 RPM
CO-1	mahu %	1,108	4,435	2,977	1,305	1,44	1,16	2,602	2,066	1,625	1,21
CO-2		1,102	2,842	2,441	1,911	1,446	1,181	2,837	2,212	2,229	1,241
CO-3		1,125	2,842	2,242	2,194	1,369	1,152	2,949	2,216	1,505	1,29
CO-4		1,124	3,211	2,298	2,392	1,408	1,176	2,941	2,091	1,515	1,234
CO-5		1,088	3,422	2,531	2,12	1,397	1,141	3,17	2,1	2,3	1,187
Keskm.		1,109	3,350	2,498	1,984	1,412	1,162	2,900	2,137	1,835	1,232
CO ₂ -1	mahu %	1,65	3,79	5,97	3,26	3,82	2,1	7,35	4,86	6,46	4,29
CO ₂ -2		1,65	5,92	4,87	6,04	3,7	2	7,56	5,17	8,58	4,14
CO ₂ -3		1,64	5,85	4,83	5,85	3,76	2,05	7,33	4,99	6,32	4,02
CO ₂ -4		1,62	6,04	4,79	7,4	3,81	1,98	7,2	5,02	6,33	4,14
CO ₂ -5		1,68	6,84	4,79	7,38	3,74	2,05	7,19	5,31	8,28	4,14
Keskm.		1,65	5,69	5,05	5,99	3,77	2,04	7,33	5,07	7,19	4,15
HC-1	ppm	229	724	247	108	97	184	238	127	125	80
HC-2		215	227	163	162	91	177	193	151	165	77
HC-3		220	222	172	141	88	173	221	128	136	73
HC-4		222	221	163	156	86	171	199	122	113	72
HC-5		200	221	152	166	86	157	211	143	113	72
Keskm.		217,2	323	179,4	146,6	89,6	172,4	212,4	134,2	130,4	74,8
O ₂ -1	mahu %	17,52	12,28	8,54	14,89	12,79	16,93	9,15	12,29	9,12	13,76
O ₂ -2		17,49	8,72	11,67	9,43	14,21	16,94	7,98	11,88	8,39	13,77
O ₂ -3		17,5	10,11	11,9	9,78	14,25	16,99	8,25	11,65	9,13	13,99
O ₂ -4		17,46	10,06	12,02	8,67	14,22	17,03	8,2	12,18	8,6	13,97
O ₂ -5		17,46	8,23	11,82	8,16	14,09	16,98	8,53	11,74	8,58	13,87
Keskm.		17,49	9,88	11,19	10,19	13,91	16,97	8,42	11,95	8,76	13,87
NO-1	ppm	6	8	7	-1	6	9	14	1	12	13
NO-2		5	10	0	10	7	9	13	1	17	11
NO-3		5	9	-1	12	7	10	13	1	16	12
NO-4		5	7	-1	13	7	7	10	1	16	12
NO-5		5	7	-2	15	7	7	9	1	18	12
Keskm.		5,2	8,2	0,6	9,8	6,8	8,4	11,8	1	15,8	12

LISA E. järg

Parameeter	Ühik	MB 85% + Butanool 15% 800 RPM	MB 85% + Butanool 15% 1500 RPM	MB 85% + Butanool 15% 2000 RPM	MB 85% + Butanool 15% 2500 RPM	MB 85% + Butanool 15% 3000 RPM	MB 75% + butanool 25% 800 RPM	MB 75% + butanool 25% 1500 RPM	MB 75% + butanool 25% 2000 RPM	MB 75% + butanool 25% 2500 RPM	MB 75% + butanool 25% 3000 RPM
CO-1	mahu %	1,734	3,629	2,739	1,297	1,305	1,082	0,528	0,442	0,202	0,165
CO-2		1,625	3,288	1,608	2,177	1,444	1,012	0,557	0,164	0,143	0,08
CO-3		1,594	3,613	2,329	2,077	1,31	0,879	0,527	0,242	0,179	0,106
CO-4		1,636	3,277	2,32	2,272	1,402	0,312	0,626	0,392	0,166	0,055
CO-5		1,514	3,344	2,271	2,299	1,501	0,358	0,353	0,235	0,198	0,155
Keskm.		1,621	3,430	2,253	2,024	1,392	0,729	0,518	0,295	0,178	0,112
CO ₂ -1	mahu %	2,4	5,98	4,85	4,16	4,04	3,01	7,65	6,72	7,79	5,07
CO ₂ -2		2,32	6,61	3,68	7,93	3,91	3,04	8,34	3,95	8,45	5,11
CO ₂ -3		2,3	6,71	4,63	7,81	3,82	2,62	7,57	5,22	8,03	5,22
CO ₂ -4		2,29	6,99	4,47	6,87	3,77	3,8	7,57	6,77	6,91	5,45
CO ₂ -5		2,12	6,69	4,41	7,48	3,89	3,85	7,37	5,32	9,3	5,15
Keskm.		2,29	6,60	4,41	6,85	3,89	3,26	7,70	5,60	8,10	5,20
HC-1	ppm	288	423	316	187	131	312	380	239	182	87
HC-2		267	317	217	227	123	297	309	135	149	78
HC-3		277	308	218	210	118	261	320	178	117	73
HC-4		291	306	215	214	116	290	300	193	118	70
HC-5		263	286	207	222	114	253	384	178	100	69
Keskm.		277,2	328	234,6	212	120,4	282,6	338,6	184,6	133,2	75,4
O ₂ -1	mahu %	16,08	11,57	12,11	13,01	14,01	15,68	9,84	11,22	10,53	13,5
O ₂ -2		16,3	8,19	13,64	8,21	14,15	15,61	9,06	14,13	11,07	13,47
O ₂ -3		16,35	8,8	12,94	7,65	14,25	15,69	9,35	14,13	9,9	13,51
O ₂ -4		16,48	8,01	12,04	9,6	14,19	16,04	9,85	12,73	9,54	13,46
O ₂ -5		16,6	8,52	12,93	9,08	14,25	15,43	9,55	12,91	9,14	13,37
Keskm.		16,36	9,02	12,73	9,51	14,17	15,69	9,53	13,02	10,04	13,46
NO-1	ppm	5	7	4	18	23	1	19	13	3	-6
NO-2		5	16	7	23	23	1	22	16	4	-5
NO-3		4	16	7	27	24	1	22	11	3	-5
NO-4		2	17	8	26	25	1	23	13	0	-6
NO-5		3	17	9	25	25	0	23	17	-1	-5
Keskm.		3,8	14,6	7	23,8	24	0,8	21,8	14	1,8	-5,4

LISA E. järg

Parameeter	Ühik	MB 85% + kuump. rapsiõli 15% 800RPM	MB 85% + kuump. rapsiõli 15% 1500RPM	MB 85% + kuump. rapsiõli 15% 2000RPM	MB 85% + kuump. rapsiõli 15% 2500RPM	MB 85% + kuump. rapsiõli 15% 3000RPM	MB 75% + kuump. rapsiõli 25% 800RPM	MB 75% + kuump. rapsiõli 25% 1500RPM	MB 75% + kuump. rapsiõli 25% 2000RPM	MB 75% + kuump. rapsiõli 25% 2500RPM	MB 75% + kuump. rapsiõli 25% 3000RPM
CO-1	mahu %	0,768	2,523	0,978	0,875	0,241	0,168	0,15	0,327	1,308	0,121
CO-2		0,865	1,459	0,467	0,347	0,285	0,227	0,313	0,348	0,31	0,125
CO-3		0,84	4,056	0,829	0,332	0,38	0,35	0,308	0,216	0,368	0,139
CO-4		0,799	1,521	0,646	0,456	0,28	0,163	0,222	0,241	0,331	0,104
CO-5		0,865	1,417	0,597	0,397	0,278	0,213	0,308	0,243	0,359	0,118
Keskm.		0,827	2,195	0,703	0,481	0,293	0,224	0,260	0,275	0,535	0,121
CO ₂ -1	mahu %	2,39	3,91	5,52	6,53	4,01	3,29	4,18	4,68	4,68	4,26
CO ₂ -2		2,47	6,17	3,37	5,07	4,14	3,12	7,7	5,32	6,28	4,17
CO ₂ -3		2,36	4,53	5,84	4,96	4,07	3,08	8,15	5,14	6,52	4,28
CO ₂ -4		2,46	7,24	4,89	6,56	4,14	3,17	7,85	5,58	7,39	4,38
CO ₂ -5		2,47	6,72	4,76	6,54	4,22	3,26	6,61	5,8	6,63	4,51
Keskm.		2,43	5,71	4,88	5,93	4,12	3,18	6,90	5,30	6,30	4,32
HC-1	ppm	144	229	121	190	69	157	189	346	154	173
HC-2		143	164	84	121	61	112	110	162	109	52
HC-3		157	355	110	100	52	114	82	143	91	40
HC-4		177	186	146	99	49	160	61	140	118	49
HC-5		159	149	93	135	45	158	175	153	76	35
Keskm.		156	216,6	110,8	129	55,2	140,2	123,4	188,8	109,6	69,8
O ₂ -1	mahu %	17,06	16,56	11,95	11,68	14,29	16,2	16,43	14,18	17,05	16,8
O ₂ -2		16,63	10,35	15,74	11,93	14,9	16,14	10,1	12,61	13,97	14,68
O ₂ -3		16,79	11,12	12,55	14,28	14,78	16	9,59	12,85	12,15	14,7
O ₂ -4		16,63	9,74	12,08	11,97	14,75	16,17	9,32	13,5	11,48	14,53
O ₂ -5		16,6	9,93	13,22	12,08	14,74	16,13	12,19	12,65	10,81	14,45
Keskm.		16,74	11,54	13,11	12,39	14,69	16,13	11,53	13,16	13,09	15,03
NO-1	ppm	4	12	24	14	28	2	1	4	1	10
NO-2		7	26	22	31	29	3	2	19	24	26
NO-3		8	28	21	27	30	3	0	18	28	20
NO-4		6	30	27	30	29	2	0	19	33	12
NO-5		7	31	26	35	28	3	8	23	34	3
Keskm.		6,4	25,4	24	27,4	28,8	2,6	2,2	16,6	24	14,2

LISA E. järg

Parameeter	Ühik	MIB 85% + metanool 15% 800 RPM	MIB 85% + metanool 15% 1500 RPM	MIB 85% + metanool 15% 2000 RPM	MIB 85% + metanool 15% 2500 RPM	MIB 85% + metanool 15% 3000 RPM	MIB 75% + metanool 25% 800 RPM	MIB 75% + metanool 25% 1500 RPM	MIB 75% + metanool 25% 2000 RPM	MIB 75% + metanool 25% 2500 RPM	MIB 75% + metanool 25% 3000 RPM
CO-1	mahu %	1,475	5,329	2,237	1,917	1,224	0,926	1,65	2,911	0,465	0,573
CO-2		1,473	2,484	1,51	1,038	1,174	1,017	1,55	0,949	0,704	0,584
CO-3		1,462	2,349	1,427	1,77	1,094	1,002	1,505	0,981	0,804	0,657
CO-4		1,485	2,47	1,952	1,091	1,189	0,915	1,397	1,203	0,699	0,628
CO-5		1,481	2,379	2,039	1,761	1,203	0,951	1,587	1,149	0,752	0,644
Keskm.		1,475	3,002	1,833	1,515	1,177	0,962	1,538	1,439	0,685	0,617
CO ₂ -1	mahu %	2,48	4,6	5,55	6,8	5,65	2,58	6,33	4,59	5,34	4,6
CO ₂ -2		2,44	7,07	4	5,36	4,28	2,56	7,32	4,6	8,14	4,61
CO ₂ -3		2,37	6,34	3,68	7,61	4,4	2,56	7,5	4,8	7,51	4,6
CO ₂ -4		2,41	6,5	4,96	4,67	4,3	2,51	7,2	5,36	7,53	4,6
CO ₂ -5		2,39	6,41	4,9	7,57	4,28	2,43	7,51	5,14	8,09	4,61
Keskm.		2,42	6,18	4,62	6,40	4,58	2,53	7,17	4,90	7,32	4,60
HC-1	ppm	240	438	196	204	150	167	176	197	138	73
HC-2		241	277	133	170	91	175	192	133	162	70
HC-3		270	233	161	185	89	158	156	134	154	68
HC-4		256	219	149	108	85	171	202	133	117	67
HC-5		238	195	157	158	85	159	163	131	122	66
Keskm.		249	272,4	159,2	165	100	166	177,8	145,6	138,6	68,8
O ₂ -1	mahu %	16,19	10,72	9,91	12,23	12,06	16,34	10,16	11,38	11,7	13,88
O ₂ -2		16,18	9,19	13,23	12,28	13,92	16,37	9,05	13,08	9,21	13,92
O ₂ -3		16,19	9,83	14,18	9,06	13,81	16,32	8,9	12,81	9,25	13,85
O ₂ -4		16,26	10,01	13,45	13,16	13,81	16,41	9,92	12,6	8,7	13,86
O ₂ -5		16,24	9,63	11,88	9,99	13,79	16,51	8,89	12,55	10,03	13,84
Keskm.		16,21	9,88	12,53	11,34	13,48	16,39	9,38	12,48	9,78	13,87
NO-1	ppm	5	13	-5	-5	-3	3	4	-1	12	9
NO-2		6	11	-5	2	8	3	5	1	16	8
NO-3		5	12	-7	5	8	2	2	0	20	5
NO-4		4	10	-7	7	10	-1	2	0	15	4
NO-5		2	9	-5	6	10	-2	1	2	18	1
Keskm.		4,4	11	-5,8	3	6,6	1	2,8	0,4	16,2	5,4

LISA E. järg

Parameeter	Ühik	MIB 85% + mootoriõli 15% 800 RPM	MIB 85% + mootoriõli 15% 1500 RPM	MIB 85% + mootoriõli 15% 2000 RPM	MIB 85% + mootoriõli 15% 2500 RPM	MIB 85% + mootoriõli 15% 3000 RPM	MIB 75% + mootoriõli 25% 800 RPM	MIB 75% + mootoriõli 25% 1500 RPM	MIB 75% + mootoriõli 25% 2000 RPM	MIB 75% + mootoriõli 25% 2500 RPM	MIB 75% + mootoriõli 25% 3000 RPM
CO-1	mahu %	0,771	1,746	2,574	0,738	0,628	1,323	0,529	0,984	0,553	0,565
CO-2		0,871	1,428	1,212	0,365	0,61	0,855	1,216	0,619	0,366	0,654
CO-3		0,86	1,322	0,802	0,664	0,634	0,52	1,323	0,54	0,354	0,506
CO-4		0,793	1,282	0,778	0,425	0,641	0,58	1,155	0,684	0,367	0,497
CO-5		0,86	1,323	0,601	0,494	0,617	0,581	1,265	0,485	0,331	0,495
Keskm.		0,831	1,420	1,193	0,537	0,626	0,772	1,098	0,662	0,394	0,543
CO ₂ -1	mahu %	3,19	5,33	4,28	4,72	3,49	1,91	3,22	1,83	5,05	3,7
CO ₂ -2		3,42	5,35	4,69	3,37	3,58	2,1	6,33	3,55	4,03	3,83
CO ₂ -3		3,25	5,75	3,56	5,6	3,72	2,82	5,97	3,55	3,63	3,9
CO ₂ -4		3,13	6,04	3,77	3,36	3,71	2,95	5,77	4,06	3,74	3,86
CO ₂ -5		3,05	5,66	3,34	4,2	3,63	2,85	5,87	3,28	3,67	3,99
Keskm.		3,21	5,63	3,93	4,25	3,63	2,53	5,43	3,25	4,02	3,86
HC-1	ppm	222	215	180	167	88	304	99	151	215	105
HC-2		156	133	133	161	72	152	153	203	199	75
HC-3		161	163	154	151	70	120	170	167	178	69
HC-4		222	164	134	116	65	116	164	247	172	61
HC-5		193	174	183	114	71	104	145	133	147	59
Keskm.		190,8	169,8	156,8	141,8	73,2	159,2	146,2	180,2	182,2	73,8
O ₂ -1	mahu %	15,73	11,3	15,74	15	14,3	14,47	16,26	17,14	13,38	14,63
O ₂ -2		15,6	11,16	12,26	14,89	15,21	17,23	10,9	15,1	12,98	14,87
O ₂ -3		15,59	10,94	14,92	12,79	15,15	16,34	10,8	15,59	15,08	14,9
O ₂ -4		15,72	10,62	13,33	15,57	15,04	16,22	11,39	14,93	15,11	14,85
O ₂ -5		15,81	11,26	15,58	15,09	15,22	16,23	11,44	15,13	14,85	14,81
Keskm.		15,69	11,06	14,37	14,67	14,98	16,10	12,16	15,58	14,28	14,81
NO-1	ppm	6	22	8	10	18	12	8	13	24	28
NO-2		7	25	20	20	24	14	31	28	34	31
NO-3		7	23	18	22	26	10	31	25	33	31
NO-4		7	25	18	34	27	10	32	26	29	33
NO-5		6	25	17	26	27	9	32	28	30	34
Keskm.		6,6	24	16,2	22,4	24,4	11	26,8	24	30	31,4

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Rikko Leheveer,
(ik 39303122797)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Mootoribensiini ja biokütuste segude mõju sädesüütega mootori heitgaaside emissioonile, mille juhendaja on Risto Ilves (PhD),
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 31.05.2017

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)